

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Plánování dopravních tras mezi vybranou firmou a jejími
zákazníky**

Matouš Kobranov

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra systémového inženýrství

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matouš Kobranov

Provoz a ekonomika

Název práce

Plánování dopravních tras mezi vybranou firmou a jejími zákazníky

Název anglicky

Scheduling of routes between selected company and its customers

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je analýza a návrh na zlepšení tras mezi vybranou dodavatelskou firmou a jejími zákazníky.

Metodika

1. Prostudování odborné literatury
2. Literární rešerše vybrané literatury
3. Výběr vhodné metody řešení
4. Sběr a zpracování dat
5. Aplikace vybrané metody
6. Interpretace výsledku a ekonomická analýza

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Optimalizační metody, aproximační metody, logistika, dopravní logistika

Doporučené zdroje informací

JABLONSKÝ, J. Operační výzkum: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 3. vyd. Praha:

Professional Publishing, 2007. 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3

PELIKÁN, J: Diskrétní modely v operačním výzkumu. Praha: Professional Publishing, 2001, ISBN

80-86419-17-7

PELIKÁN, J: Praktikum z operačního výzkumu. Praha: VŠE, 1993. 86 s. ISBN 80 7079 135-7

ŠUBRT, T. a kol. Ekonomicko-matematické metody. Plzeň: Aleš Čeněk, 2011. 351 s. ISBN

978-80-7380-345-2



Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Igor Krejčí, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 20. 10. 2014

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 11. 2014

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Plánování dopravních tras mezi vybranou firmou a jejími zákazníky" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16. 3. 2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Igorovi Krejčímu, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce. Dále mé poděkování patří firmě Amos typografické studio s.r.o., která poskytla potřebná data.

Plánování dopravních tras mezi vybranou firmou a jejími zákazníky

Scheduling of routes between selected company and its customers

Souhrn

Předmětem této bakalářské práce s názvem „Plánování dopravních tras mezi vybranou firmou a jejími zákazníky“ je, jak již z názvu vyplývá, plánování dopravních tras firmy Amos typografické studio s.r.o. V první části práce byly popsány mimo jiné i aproximační metody, využívané pro zjišťování optimálního pořadí vybraných míst v okružní trase. V následující části práce byly provedeny jednotlivé výpočty a z jejich výsledků byla vybrána vždy trasa nejkratší. Pro tyto trasy byly vypočítány orientační náklady na potřebné palivo.

Summary

The subject of this bachelor's thesis titled „Scheduling of routes between selected company and its customers“ is scheduling logistic routes used by Amos typografické studio inc. In the first part of the thesis, there were described approximation methods that are used to find out an optimal sequence of the chosen places. In the next part of the thesis, the particular calculations were done and the shortest track was selected from the results. The approximate costs of fuel.

Klíčová slova: Optimalizační metody, aproximační metody, logistika, dopravní logistika, okružní dopravní problém, metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda

Keywords: Optimization methods, approximation methods, logistics, transport logistics, travelling salesman problem, nearest neighbour method, Vogel's approximation method

Obsah

1	Seznam tabulek	8
2	Seznam obrázků	8
3	Úvod	9
4	Cíl práce a metodika	10
5	Teoretická východiska	11
5.1	Logistika	11
5.1.1	Historie logistiky	11
5.1.2	Vojenská logistika	11
5.1.3	Hospodářská logistika	12
5.1.4	Členění logistiky	13
5.1.5	Logistický systém	14
5.1.6	Logistický řetězec	14
5.1.7	Logistický podnik	15
5.2	Dopravní logistika	15
5.2.1	Rozvoj dopravní logistiky	15
5.2.2	Cíle logistiky	15
5.2.3	Souhrn problémů z oblasti dopravní logistiky	16
5.2.4	Silniční automobilová doprava	18
5.2.5	Železniční doprava	18
5.2.6	Ostatní druhy dopravy	18
5.3	Distribuční úlohy	19
5.3.1	Jednostupňová dopravní úloha	19
5.3.2	Jednookružní dopravní problém	20
5.3.3	Obecné znění jednookruhového dopravního problému	22
5.3.4	Matematický model jednookruhového dopravního problému	22
5.3.5	Přípustné a nepřípustné řešení	23
5.3.6	Víceokruhový okružní dopravní problém	23
5.3.7	Mayerova metoda	24
5.3.8	Metoda nejbližšího souseda	25
5.3.9	Vogelova aproximační metoda	27
5.3.10	TSPKOSA	28
6	Vlastní práce	29
6.1	Charakteristika společnosti	29
6.2	Charakteristika problému	29
6.3	Plánování tras pomocí vybraných metod	31
6.3.1	Metoda nejbližšího souseda	31
6.3.2	Vogelova aproximační metoda	34
7	Zhodnocení výsledků	39
8	Závěr	40
9	Bibliografie	41

1 Seznam tabulek

Tabulka 1 Přípustné řešení.....	23
Tabulka 2 Nepřípustné řešení.....	23
Tabulka 3 Vzorová matice sazeb.....	26
Tabulka 4 Trasa sestavená řidičem.....	30
Tabulka 5 Trasa Praha - Libeň.....	31
Tabulka 6 Trasa Libeň - Modletice.....	32
Tabulka 7 Výsledná tabulka.....	32
Tabulka 8 Tabulka výsledných tras.....	33
Tabulka 9 Výpočet prvních diferencí.....	34
Tabulka 10 Eliminace a obsazování polí.....	35
Tabulka 11 Výpočet druhých diferencí.....	36
Tabulka 12 Eliminace a obsazování polí.....	37
Tabulka 13 Fáze po posledním výpočtu diferencí.....	38
Tabulka 14 Výsledná tabulka VAM.....	38
Tabulka 15 Seřazená trasa.....	39

2 Seznam obrázků

Obrázek 1 Dělení hospodářské logistiky.....	12
Obrázek 2 Články hmotného logistického řetězce ve výrobě a oběhu.....	13
Obrázek 3 Rozdělení cílů podnikové logistiky.....	15
Obrázek 4 Situace jednostupňové dopravní úlohy.....	19
Obrázek 5 Okružní dopravní problém.....	20
Obrázek 6 Příklady zakázaných tras.....	21
Obrázek 7 První část okruhu.....	34
Obrázek 8 Zabránění uzavření okruhu.....	36

3 Úvod

V dnešním světě, kde je velký důraz kladen zejména na kvalitu, kvantitu a rychlost služeb, stoupají zároveň požadavky spotřebitelů. Pro uspokojení spotřebitelů, a s tím spojené udržení místa na trhu, se firmy musejí snažit splňovat maximálně možný počet kritérií a požadavků svých zákazníků.

Nároky spotřebitelů díky rychlému vývoji technologií stále rostou a tím se zvyšují i náklady na dané zboží či službu. Dnes, kdy na trhu působí spolu s kamennými obchody také obchody internetové, je nutné, aby byly všechny fáze, od výroby až po konečný prodej zákazníkovi, velmi důkladně propočítány. Některé firmy dnes disponují vlastní dopravou produktů ke klientům, jiné využívají služeb firem, které se specializují na zásilkové služby.

V bakalářské práci “Plánování dopravních tras mezi vybranou firmou a jejími zákazníky” bude provedena aplikace ekonomicko-matematických metod na praktickém příkladu doručování zásilek. K využití příkladu v praxi je nutná spolupráce s vybranou firmou, kterou bude v tomto případě firma Amos typografické studio s.r.o.

4 Cíl práce a metodika

Cílem této práce je naplánovat trasu firemního dopravce tak, aby došlo ke zkrácení jeho trasy na minimum a tím i k případnému snížení dopravních nákladů.

Metodikou práce je v první řadě sepsání literární rešerše, které vychází z podrobného prostudování odborné literatury. Budou zde popsány a vysvětleny pojmy jako logistika, doprava, vybrané distribuční úlohy a ostatní pojmy s nimi spojené.

K tvorbě vlastní praktické části poslouží podklady poskytnuté firemním dopravcem. Tyto podklady budou následně použity pro výpočet tras pomocí vybraných aproximačních metod, které byly popsány v části teoretické. Následně pak budou výsledky analyzovány a interpretovány.

5 Teoretická východiska

5.1 Logistika

Pokud bychom chtěli najít definici logistiky, existuje jich mnoho. Autoři Sixta s Mačátem vytvořili definici, která je založena na vědomostech odborníků a také na základě osobních zkušeností z hospodářské praxe. Jejich definice logistiky zní takto:

„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, Mačát, 2005, s. 25)

5.1.1 Historie logistiky

Slovo logistika, přestože by se díky svému nynějšímu významu nemuselo zdát, je používáno již mnoho staletí. V 15.-16. století se takto nazývalo praktické počítání s čísly, čímž se odlišovala od aritmetiky, která byla chápána jako teorie počítání. (Sixta, Mačát, 2005)

5.1.2 Vojenská logistika

O mnoho většího rozšíření se mohla logistika těšit v oblasti vojenství. Už v devátém století, vládce Byzantské říše, císař Leontos VI. Věřil, že náplní logistiky je zvládnutí pohybů lidí, pohybů materiálu tak, aby se příslušný objekt nacházel na potřebném místě v potřebném čase. (Sixta, Mačát, 2005)

Za podrobnějším rozvedením logistiky stojí švýcarský generál Antoine-Henri Jomini, který mimo jiné působil v armádě Napoleona. Popsal ji ve své práci zvané „Náčrt

vojenského umění“, ve které se hovoří o důstojnické funkci „major generál de logis“. (Sixta, Mačát, 2005)

Tímto pojmem byli označováni „důstojníci, kteří zajišťují ubytování a tábory pro útvary, určují pochodové směry při přesunech a upřesňují je podle místních podmínek“. Z tohoto vyplývá, že přesné načasování vzájemného setkání dílčích útvarů, přísun potřebného materiálu nebo munice, vyžadovalo přesné a podrobné propočty a speciální odbornou přípravu. Na rozdíl od Evropy, v USA byly tyto informace využity zejména americkým námořnictvem. Logistika doznala maximálního rozšíření zejména v období II. světové války, kdy rozsah materiálních toků a všeobecná pomoc válčícím spojencům v Evropě představoval ohromná množství materiálu k přepravě. (Sixta, Mačát, 2005)

5.1.3 Hospodářská logistika

Poté, co se využívání logistiky v armádě ukázalo jako účinné, začala se logistika rozvíjet a využívat i v oblasti civilní. Zejména se tak dělo v době po II. světové válce, kdy rozlišujeme čtyři hlavní období (Sixta, Mačát, 2005, s. 18):

- do roku 1950
- do roku 1970
- do roku 1985
- po současnost.

V počátečním období bylo uplatňováno mnoho realizací, které byly vzájemně málo provázány. V důsledku toho nebyly tak významné přínosy logistiky, jako v nynější době.

Druhé období bylo již, co se týká přínosu logistiky, daleko pestřejší. Jednu z hlavních zásluh na tom má Harvardská univerzita, jež v roce 1956 vypracovala pro leteckou dopravu studii o racionálním řešení fyzické přepravy materiálu. Touto dobou se začíná používat pojem „total-costs“ a tím se přestalo přihlížet pouze na nákup a prodej zboží. (Sixta, Mačát, 2005)

5.1.4 Členění logistiky

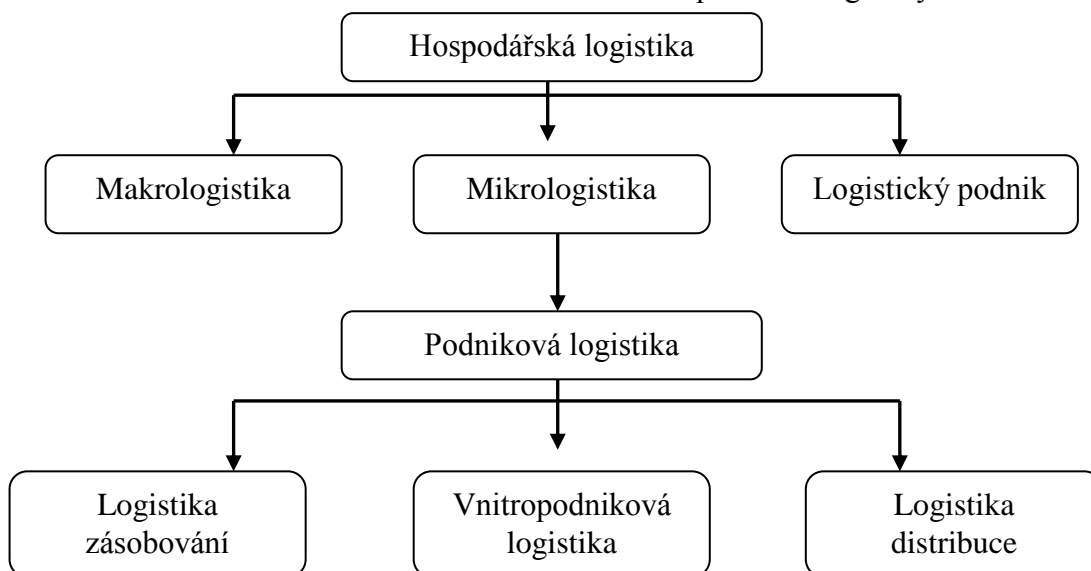
Nejběžněji je logistika dělena dle dvou hledisek (Sixta, Mačát, 2005):

- **podle šíře zaměření na studium materiálových toku**
 - makrologistika
 - mikrologistika
- **podle hospodářsko-organizačního místa uplatnění**
 - výrobní logistika
 - obchodní logistika
 - dopravní logistika

Makrologistika se zabývá logistickými řetězci, které jsou nezbytné pro výrobu určitých výrobků od těžby surovin až po prodej a následné dodání zákazníkovi. Její pole působnosti tedy překračuje hranice dílčích podniků, v některých případech i hranice států. Makrologistika se tedy zabývá soubory logistických řetězců, které jsou spolu navzájem spjaty určitou ucelenou finální produkcí. (Sixta, Mačát, 2005)

Mikrologistika se naopak zabývá logistickým systémem, který působí uvnitř určité organizace, nebo pouze v nějaké z jeho částí. Jde tedy o disciplínu, zabývající se logistickými řetězci uvnitř průmyslového závodu nebo mezi závody v rámci jednoho podniku. (Sixta, Mačát, 2005)

Obr.1: Dělení hospodářské logistiky



Zdroj: Zpracováno dle Sixta, Mačát 2005, s. 46

5.1.5 Logistický systém

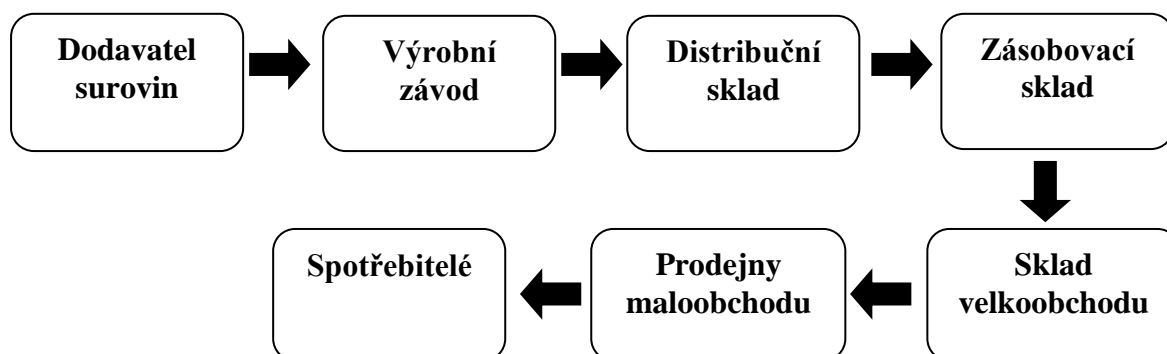
Logistický systém je účelně uspořádanou množinou všech technických prostředků, budov, zařízení, pracovníků a cest podílejících se na uskutečňování logistických řetězců. Lze jej považovat za speciální druh multisystému, který vymezujeme jako technicko-technologický, informační komunikační systém a systém řízení. Cílem logistického systému podniku je upevnění a zesílení pozice podniku jako ekonomického subjektu na trhu. (Získal, Havlíček, 2003)

5.1.6 Logistický řetězec

Logistický řetězec je složen z jednotlivých hmotných, informačních, peněžních a jiných toků, které probíhají mezi různými subsystemy ve výrobě, obchodě, dopravě a zásílatelství. Za subsystemy (články) logistických řetězců považujeme ve výrobě např. dílny, továrny, sklady surovin, výrobní a montážní mezisklady a jiné, v dopravě např. překladiště, železniční stanice, přístavy, letiště a v obchodě velkoobchodní sklady a maloobchodní prodejny. (Získal, Havlíček, 2003, Pernica, 1995)

Mezi nejvýznamnější chyby logistických řetězců patří např. **absence kontroly zásob**, kdy může docházet k nadměrné úrovni daných zásob či výskytu zásob po expiraci. Dále je mezi nimi také **špatné rozvržení závodu**, které může být dáno dlouhými vzdálenostmi mezi po sobě jdoucími procesy, což bývá náročné z hlediska dopravy. (Sixta, Mačát, 2005)

Obr.2 Články hmotného logistického řetězce ve výrobě a oběhu



Zdroj: Zpracováno dle Získal, Havlíček, 2003, s. 59

5.1.7 Logistický podnik

„Poskytovatel individualizovaných logistických služeb, který jako službu nabízí také řízení výrobcova logistického řetězce, je logistickým podnikem“ (Sixta, Mačát, 2005, s. 105)

Pokud tyto podniky zapojí své logistické služby do logistických řetězců více podniků zároveň, mohou lépe optimalizovat všechny nabízené logistické služby a tím snižovat logistické náklady a zvyšovat tak uspokojení svých budoucích zákazníků. (Sixta, Mačát, 2005)

5.2 Dopravní logistika

Dopravní logistika se zabývá synchronizací, koordinací a celkovou optimalizací všech hmotných i nehmotných procesů, které probíhají za pohybu zásilek v dopravní síti. V řešení jsou též obsaženy problémy manipulace, balení, skladování či servisních služeb. (Získal, Havlíček, 2003)

5.2.1 Rozvoj dopravní logistiky

Rozvoj v tomto odvětví je udáván především úrovní dopravní infrastruktury daného státu či regionu. Kulminace poptávky po dopravě je způsobena např. změnami ve struktuře zpracovatelského průmyslu, zmenšováním velikosti dodávek a následným zvyšováním jejich frekvence či demografickými změnami (vyšší podíl osobních automobilů v dopravě a rozvoj cestování). V budoucnu je nutno počítat s dalším rozvojem silniční dopravy (zejména kamionové) a kombinované přepravy za účasti železnice. (Získal, Havlíček, 2003)

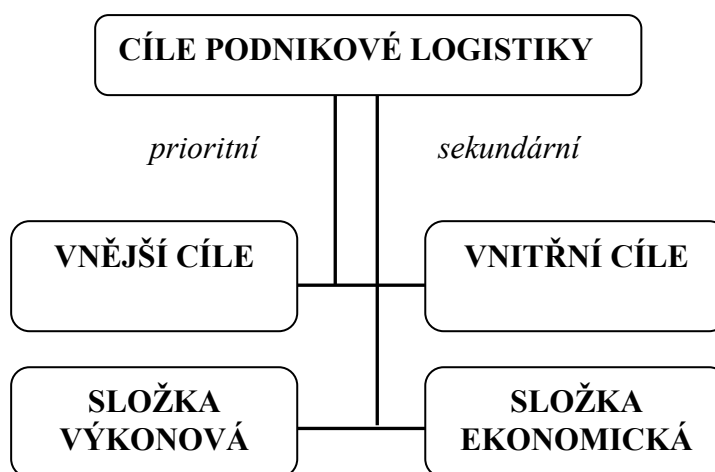
5.2.2 Cíle logistiky

Jelikož nejdůležitějším článkem celého řetězce je zákazník, od kterého vycházejí informace o požadavcích na zabezpečení dodávky zboží, je základním cílem logistiky uváděno optimální uspokojování potřeb zákazníků. Cílem dopravní logistiky je takové pojetí sledů úkonů a jednotlivých procesů, které má za následek minimalizaci nákladů na logistické řetězce při dosažené požadované výkonnosti. (Sixta, Mačát, 2005)

Často je využíváno logistických technologií jako např. metody „*Just in Time*“, kdy se podnik snaží o tzv. „*stockless production*“ stav. Tím se podnik snaží omezit množství zásob díky pravidelným a spolehlivým dodávkám zboží v potřebný čas na potřebné místo. (Sixta, Mačát, 2005)

Mezi cíle podnikové logistiky patří cíle **prioritní** a **sekundární**. Prioritní cíle jsou děleny na vnější a výkonové, kde vnější se zaměřují na potřeby zákazníka a lze sem zařadit např. zkracování dodacích lhůt nebo zvyšování objemu prodeje. Výkonové cíle se snaží o dosažení optimální úrovně služeb. Součástí sekundárních cílů jsou cíle vnitřní a ekonomické, přičemž u vnitřních je důraz kladen na snižování nákladů např. zásob, výroby nebo manipulace a skladování. Ekonomickým cílem logistiky je následné zabezpečení těchto služeb s přiměřenými náklady, jež jsou vzhledem k dané úrovni služeb minimální. (Sixta, Mačát, 2005, Získal, Havlíček, 2003)

Obr.3: Rozdělení cílů podnikové logistiky



Zdroj: Zpracováno dle Sixta a Mačát, 2005, s. 42

5.2.3 Souhrn problémů z oblasti dopravní logistiky

- **Klasický dopravní problém**

Představuje požadavek na racionální dopravu stejnorodého materiálu od dodavatelů s danými kapacitami odběratelům s danými požadavky při určitých nákladech

(či vzdálenostech) mezi dodavatelskými a odběratelskými místy. (Získal, Havlíček, 2003)

- **Dopravní modely s tranzitem**

V tomto modelu se nepředpokládá použití přímé přepravy, ale využívá se zde tranzitních stanic (meziskladů). Pokud jsou známy dopravní sazby mezi všemi stanicemi, úkolem se stává rozvržení dopravy daného zboží od dodavatelů přes mezisklady ke spotřebitelům tak, aby byly celkové náklady za přepravu minimální. (Získal, Havlíček, 2003)

- **Modely optimalizace přímých dopravních tras**

Součástí této skupiny jsou především dva modely teorie grafů. Jedním z nich je problém nalezení nejkratší cesty mezi dvěma libovolnými místy v dané dopravní síti s délkově ohodnocenými trasami. Problém je řešen vyhledáním nejkratší cesty v ohodnoceném grafu. (Získal, Havlíček, 2003)

Jestliže jsou dílčí komunikace ohodnoceny svojí propustností, která umožňuje za určitou časovou jednotku projetí jen omezeného počtu vozidel, jde v tomto případě o problém teorie toků v sítích. Účelem je nalézt maximální tok, tj. Maximální propustnost ze všech cest, které spojují uvažované dva uzly (stanice). (Získal, Havlíček, 2003)

- **Zobecněný dopravní model**

Tento model se vyznačuje zvláštní strukturou matice soustavy \mathbf{A} . Vektory této matice a_{ij} mají pouze dvě nenulové složky. Souřadnice i -tá je rovna 1 a souřadnice $(j+m)$ -tá je rovna koeficientu a_{ij} , který lze ekonomicky interpretovat například jako maximální nosnost dopravního prostředku při přepravě libovolných druhů produktů. (Získal, Havlíček, 2003)

- **Dopravní problém s horními a dolními mezemi**

V tomto případě jde o speciální typ klasického dopravního problému, v němž jsou proměnné x_{ij} , tj. přepravovaná množství, omezeny nerovnostmi:

$$\underline{X}_{ij} \leq X_{ij} \leq \overline{X}_{ij}$$

V takovém případě jsou dodávky od určitého dodavatele, resp. požadavky některých odběratelů limitovány určitou výší dodávky. (Získal, Havlíček, 2003)

5.2.4 Silniční automobilová doprava

Silniční nákladní doprava je u nás nejrozšířenějším druhem nákladní dopravy. Přepravuje nejvíce zboží v tunách a využívá se především k zabezpečení přímé přepravy zvláště hodnotnějších druhů zboží na krátké a středně dlouhé přepravní vzdálenosti. Díky své spolehlivosti a rychlosti je vhodná pro uplatnění v logistických systémech. Pro svou flexibilitu a univerzálnost většinou nejlépe vyhovuje požadavkům zákazníků, a proto se objem zboží, které je přepravováno autodopravci, stále zvyšuje. (Sixta, Mačát, 2005)

5.2.5 Železniční doprava

Druhou nejvýznamnější dopravou v České republice je doprava železniční, která je vhodná pro přepravy na střední a dlouhé vzdálenosti především hromadných a rozměrných dodávek. Na tyto vzdálenosti se uplatňuje zvláště pro přepravu stavebnin, dřeva či hutních a strojírenských výrobků. (Sixta, Mačát, 2005)

Mezi nedostatky železniční dopravy bývá zařazena její nižší rychlost nebo nepravidelnost jízd nákladních vlaků. (Sixta, Mačát, 2005)

5.2.6 Ostatní druhy dopravy

Vodní doprava, která je členěna na **říční** a **námořní**, není v našich podmínkách tak významná jako v přímořských státech. Naše říční doprava je omezena na labskou a vltavskou vodní cestu a v omezené míře i splavné vnitrozemské vodní cesty v Německu. (Sixta, Mačát, 2005)

Bývá vhodná pro přepravu hromadných substrátů a většího množství zboží, u kterého není vyžadována jeho rychlá přeprava. Její předností je nižší cena, vysoká kapacita

jednotlivých přepravních prostředků a v neposlední řadě i minimální negativní vliv na životní prostředí. Nevýhodami bývá nízká rychlost, značná závislost na vodních stavech a často vyšší náklady na překládku a skladování zboží. (Sixta, Mačát, 2005)

Za nadstandartní je stále ještě považována **doprava letecká**, která je schopna zabezpečit rychlou dopravu na střední a dlouhé vzdálenosti. Konkurencí je jí však na střední vzdálenosti doprava železniční, případně kombinovaná doprava, která využívá různé druhy dopravy. Letecká doprava je kvůli své vysoké ceně vhodná spíše pro přepravu malých, lehkých, ale cenných zásilek, které kladou důraz na dobu dodání. (Sixta, Mačát, 2005)

Potrubní dopravu je vhodné využívat pro přepravu látek, které mají kapalná, nebo plynná skupenství. Jde nejčastěji o zemní plyn, chemikálie, ropné produkty či vodu. Tok látek uvnitř potrubí je monitorován a řízen počítači, potrubí minimalizuje vliv klimatických podmínek a téměř nedochází ke ztrátám a poškození. Z hlediska nákladů je tento způsob přepravy výhodný a spolehlivý. (Sixta, Mačát, 2005)

5.3 Distribuční úlohy

Distribuční úlohy tvoří speciální skupinu úloh lineárního programování. Patří mezi ně problémy jednostupňové, dvoustupňové, okružní, trasovací, přiřazovací a mnoho dalších typů. U všech z těchto metod se může využít k jejich zobrazení lineárních modelů, avšak u některých z těchto úloh se díky jejich specifickým vlastnostem mohou využít k řešení speciální metody, které jsou jednodušší než metoda simplexová. (Šubrt, 2011)

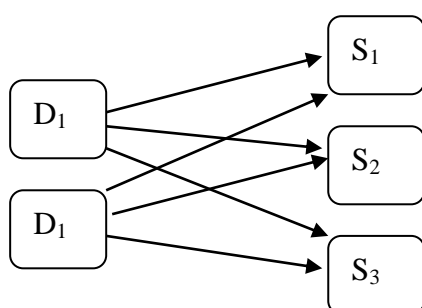
5.3.1 Jednostupňová dopravní úloha

Tato úloha se zabývá problémem, jak nejlépe uspořádat přepravu stejnorodého produktu od dodavatelů nespotřebitelům tak, aby náklady na přepravu byly minimální. Při řešení se vychází z předpokladu, že je k přepravě produktu využíván stejný druh dopravních prostředků. Dalšími předpoklady jsou, že mezi každým dodavatelem a spotřebitelem existuje pouze jedna dopravní cesta, které je možné využít přepravě libovolného množství produktu, a náklady na přepravu jsou přímo úměrné množství transportovaného produktu. (Šubrt, 2011)

Druhým typem dopravních úloh jsou úlohy, u kterých je nedílnou součástí přepravy od dodavatele ke spotřebiteli mezisklad. V praxi tímto meziskladem nemusí mít přímo podobu skladu. Může to být i např. místo, kde je produkt nějakým způsobem upravován před tím, než se dostane k cílovému spotřebiteli. (Šubrt, 2011)

Následující graf znázorňuje situaci jednostupňové dopravní úlohy, kde mezi dodavateli a spotřebiteli jsou zobrazeny jednotlivé možné cesty mezi nimi

Obr.4: Situace jednostupňové dopravní úlohy



Zdroj: Zpracováno dle Brožová, Houška, 2002, s. 129

5.3.2 Jednookružní dopravní problém

V běžném životě se lidé s okružními problémy setkávají velmi často. Jedná se většinou o nějaký rozvoz určitého materiálu nebo předmětů od jednoho, či více dodavatelů k většímu množství spotřebitelů. Použitím okružní jízdy se dopravní náklady ušetří v porovnání se situací, kdyby byla realizována každá trasa mezi dodavatelem a spotřebiteli zvlášť. (Šubrt, 2011)

Jednookruhový okružní dopravní problém patří mezi nejjednodušší z okružních dopravních problémů. Často je nazýván problémem obchodního cestujícího a má řadu společných rysů s úlohou přiřazovací. (Jablonský, 2007, Šubrt, 2011)

Okružní dopravní problémy jsou v realitě velmi časté. Jde pomocí nich nalézt vhodné způsoby zásobování, např.

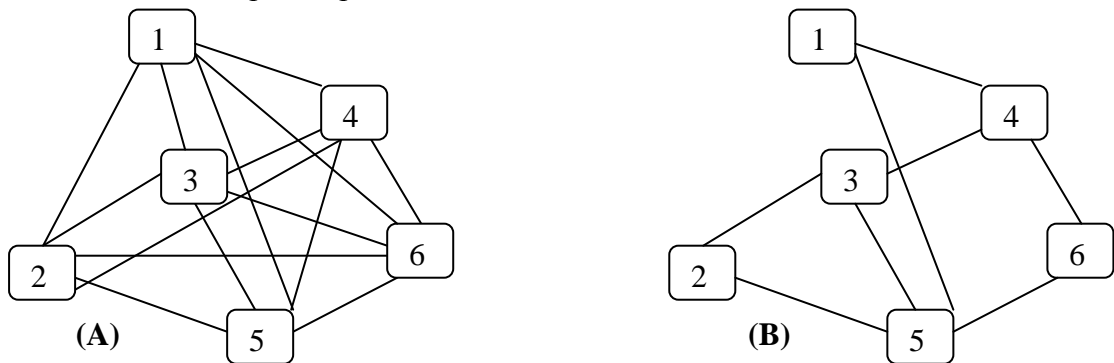
- rozvoz pracovníků na pracoviště

- rozvoz denního tisku do prodejen
- zásilková služba apod. (Brožová, Houška, 2002)

Dalšími typy jsou víceokruhové dopravní problémy, někdy nazývané rovněž trasovací problémy, u kterých je možná existence určitých limitů. Může se jednat například o kapacitní omezení přepravního vozidla nebo o omezení časová. Mimo to se dají tyto úlohy dělit např. na problémy s úplnou sítí cest, kde je možné spojení mezi jakýmkoliv dvěma obsluhovanými místy, a problémy s neúplnou sítí tras, kde se vyskytují trasy mezi určitými místy, které není možné využít. (Šubrt, 2011)

Okružní dopravní problém s úplnou cestní sítí (A) a s neúplnou cestní sítí (B):

Obr.5: Okružní dopravní problém



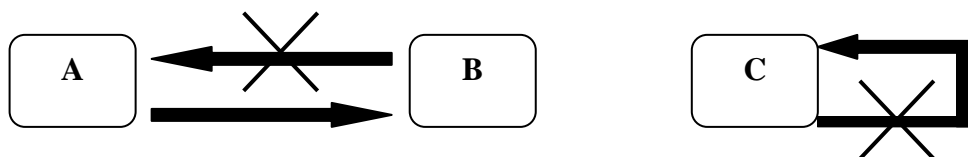
Zdroj: Zpracováno dle Brožová, Houška, 2002, s. 156

Pro okružní dopravní problémy neexistuje žádný efektivní algoritmus, díky kterému by se dalo nalézt přesné matematické optimum. Je to dáno tím, že množství omezujících podmínek v matematickém modelu této úlohy stoupá exponenciálně s rostoucím počtem míst, a tím se i prodlužuje doba, za kterou by bylo možné jakoukoliv metodou výsledku dosáhnout. (Šubrt, 2011)

Z tohoto důvodu jsou využívány aproximační metody, které přinášejí přípustná řešení, avšak hodnoty účelových funkcí nemusejí být optimální. (Šubrt, 2011)

5.3.3 Obecné znění jednookruhového dopravního problému

Je dáno n míst (měst, uzlů) a sazba c_{ij} pro každou dvojici těchto míst (i, j) , která nám udává např. vzdálenost, časovou náročnost či náklady na spoj. Cílem této úlohy je propojení všech míst okružním spojením tak, aby se ve výsledné posloupnosti každé z nich vyskytovalo právě jednou s výjimkou počátečního místa, které se objeví na jejím konci, a výsledné ocenění tohoto cyklu, součet ocenění (sazeb) daných tras, bylo minimální. (Šubrt a kol., 2011, Pelikán, 2001)



Obr.6: Příklady zakázaných tras

Zdroj: Vlastní zpracování

5.3.4 Matematický model jednookruhového dopravního problému

Snaha o nalezení minima lineární funkce:

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \text{MIN}$$

Pod podmínkami:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Tato omezení zajišťují to, že každý uzel je na trase obsažen právě jednou, tj. že do každého uzlu vchází právě jedna hrana a zároveň z každého uzlu jedna hrana vychází. (Pelikán, 1993)

$$\begin{aligned} u_i - u_j + nx_{ij} &\leq n - 1 & i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \\ x_{ij} &\in \{0, 1\} & i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

(Šubrt, 2011)

5.3.5 Přípustné a nepřípustné řešení

T1	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	T2	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A ₁			1			A ₁		1			
A ₂				1		A ₂			1		
A ₃		1				A ₃	1				
A ₄					1	A ₄					1
A ₅	1					A ₅				1	

Tabulka 1 Přípustné řešení

Tabulka 2 Nepřípustné řešení

$$A_1 - A_3 - A_2 - A_4 - A_5 - A_1$$

$$A_1 A_2 - A_3 - A_1; A_4 - A_5 - A_4$$

Zdroj: Zpracováno dle Jablonský, 2007

Matematická formulace okružního dopravního problému je dosti podobná přiřazovací úloze. Okruh se dá popsat tak, že všem jednotlivým místům, které projedeme, přiřadíme místo, které je na okružní trase následuje.

U některých řešení přiřazovací úlohy však může vyjít řešení, kdy se jednotlivá místa objedou více samostatnými okruhy. Pro vyloučení této možnosti, přidáváme k modelu přiřazovací úlohy tzv. Tuckerovy podmínky. Ty ovšem nezapřičiňují obtížnost těchto úloh. Obtížnost je dána podmínkami bivalentnosti proměnných, což jsou proměnné, které nabývají pouze hodnot 0, nebo 1 a které fungují jako „přepínače“ (Jablonský, 2007, Šubrt, 2011)

5.3.6 Víceokruhový okružní dopravní problém

Tento problém je rozšířením jednookruhového problému o podmínky, kvůli kterým nelze realizovat jen jeden okruh. Nejčastěji bývá příčinou rozdělení přepravy do více okruhů výskyt určitých kapacitních omezení. Především jde o kapacitu přepravného vozidla, která mnohdy nestačí pokrýt požadavky všech míst na množství materiálu. Matice sazeb je tedy rozšířena o sloupec požadavků, které souvisejí s jednotlivými místy. (Brožová, Houška, 2002, Šubrt, 2011)

5.3.7 Mayerova metoda

K přibližnému sestavení okružních jízd výběrem minimálních prvků lze využít Mayerovu metodu, která je vhodná pro okružní problémy s úplnou sítí cest a s centrálním místem. (Brožová, Houška, 2002)

Předpokladem metody je symetrická matice sazeb (např. vzdáleností) mezi místy zahrnutými do řešení. Dílčí místa jsou v matici uspořádána dle sazeb mezi danými místy a místem centrálním. Na prvním místě je v matici uvedeno místo s nejvyšší sazbou této trasy a na místě posledním je místo centrální. (Brožová, Houška, 2002)

Řešení je prováděno v následujících dvou krocích:

V prvním kroku je proveden výběr míst pro jednotlivé okružní trasy. Nejprve se zařadí místo s nejvyšší sazbou trasy vzhledem k centrálnímu místu. Následně jsou vybírána jednotlivá místa tak, aby nedošlo k překročení kapacity okruhu a aby toto místo bylo nejbližší již zařazenému místu, tj. sazba trasy k některému již vybranému místu musí být nejmenší možná. (Brožová, Houška, 2002)

Místa jsou do okruhu přidávána tak dlouho, dokud není překročena kapacita okruhu. Výběr míst pro následující okružní trasu začíná opět nejvzdálenějším přepravním požadavkem, který nebyl dosud použit. Postup je analogický jako v předchozím případě. (Brožová, Houška, 2002)

Ve druhém kroku dochází k řazení míst v jednotlivých trasách. Ty jsou obecně upravovány na základě intuitivního rozhodování a znalostí člověka, k čemuž je stěžejní znalost rozložení a vlastností sítě tras. (Brožová, Houška, 2002)

Postup výpočtu v matici sazeb:

1. Seřadí se místa dle sazeb tras k centrálnímu místu. Následně se sestaví matice sazeb a doplní se o sloupec požadavků jednotlivých míst.
2. Jako první je zařazeno do okruhu místo s nejvyšší sazbou trasy vedoucí do centra.

3. Označí se sloupec matice sazeb spolu s požadavkem právě zařazeného místa a vyškrtne se řádek zařazeného místa.
4. Pro každé ze zbývajících míst přičteme jeho požadavek k požadavkům již vybraných míst v daném okruhu. U všech míst, kde tento součet bude větší než kapacita okruhu, vyškrtne v označených sloupcích sazby v příslušném řádku.
5. Ze zbylých nevyškrtnutých sazeb ve sloupcích míst, které byly zařazeny do sestavovaného okruhu, se vybere sazba minimální. Pokud není jednoznačný výběr, pak se volí první taková sazba. Touto sazbou se rozumí místo, které se jako další přiřazuje do právě konstruovaného okruhu.
6. Celý postup je opakován, dokud nedojde při porovnávání kapacit k vyškrtání všech sazeb v označených sloupcích.
7. V okamžiku, kdy jsou vybrána všechna místa pro sestavovaný okruh, vyškrtají se jejich sloupce a požadavky a označí se číslem sestavovaného okruhu. Ve zbývajících částech tabulky jsou hledány stejným způsobem od druhého kroku místa do dalších okružních tras.
8. Výsledná místa v jednotlivých okruzích se uspořádají využitím některé z metod pro řešení jednookruhové úlohy. (Brožová, Houška, 2002)

5.3.8 Metoda nejbližšího souseda

Dle Šubrta a spol. (2011) se jedná o nejjednodušší aproximační metodu řešení okružních dopravních problémů. Tvoření celkové trasy je sekvenční, což znamená, že jsou jednotlivá místa do trasy přidávána postupně. Princip této metody tkví v tom, že je zvoleno výchozí místo. Z něj je vybrán nejkratší možný spoj vedoucí do dalšího místa. Odtud je vybrán znovu nejkratší možný spoj, avšak musejí se vynechat místa, která již byla použita. Tento postup je opakován do té doby, dokud nebudou navštívena všechna místa. Pak následuje trasa zpět do výchozího místa.

Nevýhodou této metody je její krátkozraká strategie, jelikož se na počátku vybírají nejvýhodnější trasy a riskuje se tak, že ke konci úlohy zůstanou k dispozici jen velice nevýhodné trasy. Tím se může vývoj výsledku velmi rychle zhoršit.

(Šubrt, 2011, Brožová, Houška, 2002, Pelikán, 1993)

	A	B	C	D	E
A	2	5	12	7	3
B	11	7	4	2	8
C	4	2	9	9	7
D	6	10	3	1	2
E	5	1	2	13	9

Tabulka 3 Vzorová matice sazeb

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro výpočet je využívána matice sazeb (vzdáleností). V první řadě je vyškrtnut sloupec výchozího místa, kam bude potřeba spoj až na samém konci okruhu. V řádku počátečního místa je vybrána buňka s nejnižší (nejvýhodnější) hodnotou a označí se, tudíž bude tento spoj součástí výsledné okružní trasy. Přes tento spoj se řešení dostává do místa, jemuž odpovídá sloupec obsahující vybranou buňku. (Šubrt, 2011)

Zmíněný sloupec se musí vyškrtnout, jelikož se do tohoto místa už nebude vícekrát vracet. V řádku odpovídajícím tomuto místu je nutno vyhledat, v dosud nevyškrtnutých sloupcích, znovu nejvýhodnější hodnotu a celý postup se opakuje, dokud nedojde k obsazení všech míst. V řádku posledního obsazeného místa se obsadí spoj, vedoucí zpět do výchozího bodu, čímž dojde k uzavření okruhu. (Šubrt, 2011)

Jako výchozí musejí být v této metodě zvoleny postupně všechna místa z dané matice. V případě, že by měla úloha matici sazeb asymetrickou, musí se postup pro každé místo provést i „pozpátku“. To se provádí buďto pomocí transponované matice, nebo se vyhledávají nejvýhodnější sazby v sloupcích a následně vyškrtávají řádky. Po získání všech výsledků tras je vybrána ta nejvýhodnější (s minimálním součtem sazeb). (Šubrt, 2011)

5.3.9 Vogelova aproximační metoda

Tato aproximační metoda je jednou z nejpoužívanějších, neboť poskytuje řešení velmi blízká řešení optimálnímu a je často používáno jako jeho náhrada.

V této metodě totiž nejsou stěžejními trasy s nejnižší hodnotou, nýbrž jejich relativní výhodnost vzhledem k možnému zvýšení dopravních nákladů, pokud nebude možné využít trasu nejlevnější. Zmíněná relativní výhodnost každé trasy je zjišťována pomocí rozdílu mezi nejvýhodnější a druhou nejvýhodnější sazbou tras mezi výchozím a následným místem. Tyto diference lze interpretovat jako minimální hodnota možné jednotkové ztráty, která by nám vznikla, kdyby byl vybrán až druhý nejvýhodnější spoj. (Brožová, Houška, 2002)

Pro první krok výpočtu se musejí nejdříve vypočíst diference jednotlivých řádků a sloupců. Vybere se maximální diference a v jejím řádku nebo sloupci zvolíme trasu s nejvýhodnější sazbou. Pokud by došlo k výskytu několika stejně vysokých maximálních diferencí, obsazuje se přednostně pole s nejvýhodnější hodnotou z hlediska všech hodnot v matici (tzv. sedlové pole). (Brožová, Houška, 2002)

5.3.9.1 Více sedlových polí

Existuje-li více sedlových polí, přednostně se obsazuje pole, které má nejvyšší součet své sloupcové a řádkové diference. Za předpokladu, že by neexistovalo ani jediné sedlové pole, je nutno vypočítat druhé diference, což je rozdíl mezi druhou nejvýhodnější sazbou v řadě s maximální první diferencí a mezi nejvýhodnější sazbou v kolmé řadě, která prochází uvažovanou druhou nejvýhodnější sazbou. Následně je vybráno pole s nejvýhodnější sazbou v řadě s maximální druhou diferencí.

Před dalším krokem je nutno vyškrtnout využitý řádek i sloupec a nesmí se opomenout vyškrtnutí pole, jež vytváří zpětný spoj a uzavírá tak předčasně dosavadní okruh. (Brožová, Houška, 2002)

5.3.10 TSPKOSA

Software TSPKOSA byl vytvořen pro řešení okružního dopravního problému. Jsou v něm využívány tři aproximační metody a jedna metoda optimalizační. Tento program byl vytvořen v programovacím jazyku Microsoft Visual Basic 6.5. Ve výsledku metod spočítaných tímto softwarem je možné zjistit minimální hodnotu účelové funkce, přesné pořadí nejvýhodnější trasy či další testované okruhy. (Krejčí, Kučera, Vydrová, 2010)

Použité metody:

- Optimalizační:
 - Metoda větví a mezí pro ODP
- Aproximační:
 - Metoda nejbližšího souseda (sekvenčně)
 - Vogelova aproximační metoda pro ODP
 - Metoda výhodnostních čísel (paralelně) (Krejčí, Kučera, Vydrová, 2010)

6 Vlastní práce

Náplní této části práce bude naplánování nejlepších možných tras dle jednotlivých míst, jež byly poskytnuty firmou. K tomuto procesu budou využity jednotlivé metody pro výpočet jednookruhového okružního dopravního problému, které byly popsány v části předchozí. Postupně bude aplikována každá z nich a budou vyhodnoceny a popsány jednotlivé výsledky. Závěrem budou porovnány nejlepší výsledky obou použitých aproximačních metod.

6.1 Charakteristika společnosti

Firma Amos typografické studio s.r.o. byla založena roku 1990. Od samého začátku nabízí služby v oblasti tisku a to jak velkoformátového, tak i ofsetového. Ze začátku měla firma pravidelné odběratele pouze na území Prahy a doprava produktů spotřebitelům byla zprostředkovávána specializovanými přepravci. Kolem roku 1995 už měla firma zákazníky po celé České republice a to byl moment, kdy se majitelé firmy rozhodli pro vlastní způsob dopravy.

Nyní firma disponuje třemi vozidly, za pomoci kterých doručuje zboží svým klientům. K nejnovějším poskytovaným službám patří především 3D tisk, který je prováděn na pobočce v Uhřetěvsi, odkud je finálový produkt dopraven na pražskou centrálu a sklad v Opletalově ulici v Praze. V tomto místě je umožněn zákazníkům osobní odběr produktů. Nejčastěji však je odtud ke klientům vyexpedován pomocí firemních kurýrů.

6.2 Charakteristika problému

Jelikož námi vybraná společnost doposud nevyužívala žádných optimalizačních výpočtů a trasy si tak plánovali vždy samotní řidiči, bude se tato práce snažit o nalezení trasy, při níž by byly náklady na dopravu nejnižší.

Byla nám poskytnuta přesná trasa, která byla projeta v minulosti námi vybraným řidičem. Ten rozváží produkty vždy jednou týdně z pražské pobočky, přičemž jde v tomto

případě o téměř stálá odběratelská místa. Jde v tomto případě o jednookružní dopravní problém, jelikož projetí jednotlivých míst je zapotřebí pouze jednou. Zároveň také není nutno díky dostatečné kapacitě automobilu doplňovat zboží v meziskladech.

Za předpokladu, že by námi vykonstruovaná trasa přinesla úsporu alespoň 200 Kč na jednu jízdu, mohlo by jít o dostatečný impuls k tomu, aby začala firma uvažovat o využívání aproximačních metod. Doposud je totiž plánování trasy založeno plně na řidiči, který je pověřen danou trasu následující den projet. Tomu však firma náklady spojené s dopravou následně hradí, tudíž motivace k minimalizaci ujeté trasy nemusí být maximální možná. Vzhledem k tomu, že tyto služby firma poskytuje celoročně a často plně využívá všechny tři vozidla, mohlo by ke konci roku dojít ke značným úsporám.

Trasa, kterou řidič projel je následující:

Praha	
Modletice	22
Strančice	9
Libeň	19
Benešov	28
Sedlčany	29
Příbram	32
Plzeň	62
Přistoupim	126
Mladá Boleslav	45
Mělník	41
Praha	47
Celkem	460

Tabulka 4 Trasa sestavená řidičem

Zdroj: Vlastní zpracování

Tento okruh, sestavený firemním řidičem, měří celkově 460 km. Z pravidla je k jízdě využíváno vozidlo Fiat Ducato, které má průměrnou spotřebu 9l/100 km. Cena pohonných hmot je velmi odlišná v různých regionech. Náš řidič se podle svých slov snaží nakupovat palivo mimo oblast hlavního města, ve kterém bývá cena paliva často vyšší. Průměrná cena, za kterou náš řidič kupuje palivo, činí 35 Kč/litr. Spotřebované palivo na takto

sestavený dopravní okruh je tedy $460 \cdot 0,09 = 41,4$ litrů. Náklady na pohonné hmoty jsou tedy přibližně 1449 Kč. Pokud uvážíme, že tento okruh řidič praktikuje čtyřikrát v měsíci, tyto náklady činí 5796 Kč.

6.3 Plánování tras pomocí vybraných metod

6.3.1 Metoda nejbližšího souseda

Postup metody nejbližšího souseda bývá z těchto metod nejlehčím. Nejprve je zvoleno výchozí místo. Tím bude pro náš první výpočet město Praha, v jejímž řádku bude vybráno nejbližší spojení do dalšího města. Tomuto spojení odpovídá pole s hodnotou 20, které znázorňuje spojení mezi Prahou a městem Libeň. Následně je nutno z matice vyškrtnout sloupce obou zmíněných měst, čímž se se zabezpečí, že nedojde k předčasnému ukončení okruhu.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sedl.
Praha	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59
Plzeň	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93
Příb.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32
Modl.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49
Libeň	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39
Stran.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49
Přist.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70
Bene.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111
Sedl.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 5 Trasa Praha - Libeň

Nyní se řešení nachází v městě Libeň, tudíž v jejím řádku je hledán opět nejkratší spoj, přičemž se musejí vynechat již vyškrtnuté hodnoty. Vybrané pole má hodnotu 13 a znázorňuje trasu vedoucí do města Modletice. Opět následuje vyškrtnutí sloupce týkajícího se města Modletice. Uvedený postup je znázorněn v tabulce trasy Libeň – Modletice.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sedl.
Praha	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59
Plzeň	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93
Příb.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32
Modl.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49
Libeň	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39
Stran.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49
Přist.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70
Bene.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111
Sedl.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 6 Trasa Libeň - Modletice

Z Modletic je vybrána stejným postupem cesta vedoucí do Strančic, oceněna sazbou 9 km. Tímto algoritmem se postupuje dále, dokud nedojde k projetí všech zbývajících míst. Aby došlo k návratu zpět do počátečního místa z místa konečného, kterým v tomto případě vyšlo město Přistoupim, musí se navíc k výsledku přičíst délka trasy Přistoupim – Praha.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sedl.
Praha	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59
Plzeň	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93
Příb.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32
Modl.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49
Libeň	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39
Stran.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49
Přist.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70
Bene.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111
Sedl.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 7 Výsledná tabulka

Po celkovém součtu poté vyjde okruh o délce 434 km. Nyní je nutno provést analogické výpočty s tím, že jsou postupně vystřídána na pozici výchozího bodu všechna města. Jednotlivé výsledné trasy jsou pro přehlednost zapsány do tabulky a vybere se ta, jejíž hodnota bude nejnižší.

Výchozí místo	Trasa	Délka trasy (km)
Praha	-Libeř-Modletice-Strančice-Benešov-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Mělník-Ml. Boleslav-Přistoupim-Praha	434
Příbram	-Sedlčany-Benešov-Strančice-Modletice-Libeř-Praha-Přistoupim-Ml. Boleslav-Mělník-Plzeň-Příbram	434
Plzeň	-Příbram-Sedlčany-Benešov-Strančice-Modletice-Libeř-Praha-Přistoupim-Ml. Boleslav-Mělník-Plzeň	434
Modletice	-Strančice-Libeř-Praha-Přistoupim-Benešov-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Mělník-Ml. Boleslav-Modletice	478
Libeř	-Modletice-Strančice-Benešov-Sedlčany-Příbram-Praha-Přistoupim-Ml. Boleslav-Mělník-Plzeň-Libeř	511
Strančice	-Modletice-Libeř-Praha-Přistoupim-Benešov-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Mělník-Ml. Boleslav-Strančice	474
Přistoupim	-Strančice-Modletice-Libeř-Praha-Benešov-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Mělník-Ml. Boleslav-Přistoupim	443
Benešov	-Strančice-Modletice-Libeř-Praha-Přistoupim-Ml. Boleslav-Mělník-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Benešov	485
Mělník	-Ml. Boleslav-Přistoupim-Strančice-Modletice-Libeř-Praha-Benešov-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Mělník	443
Mladá Boleslav	-Mělník-Praha-Libeř-Modletice-Strančice-Benešov-Sedlčany-Příbram-Plzeň-Přistoupim-Ml. Boleslav	447
Sedlčany	-Benešov-Strančice-Modletice-Libeř-Praha-Přistoupim-Mladá Bleslav-Mělník-Příbram-Plzeň-Sedlčany	465

Tabulka 8 Tabulka výsledných tras

Zdroj: Vlastní zpracování

Z výsledků v tabulce je možno vyčíst, které trasy jsou pro řidiče výhodnější a které naopak nikoli. Jako nejkratší vyšly trasy tři, ovšem pokud se pozorněji podíváme, zjistíme, že trasy jsou shodné. Liší se pouze směrem jízdy, který je však irrelevantní.

V případě, že by se firma rozhodla využívat tento okruh, činily by celkové náklady na pohonné hmoty 1 367 Kč (5 468 Kč měsíčně). Kdyby se tedy firma rozhodla využívat této aproximační metody, mohla by tak v tomto případě měsíčně ušetřit na dopravních nákladech 328 Kč.

6.3.2 Vogelova aproximační metoda

U této aproximační metody se vychází ze stejné matice sazeb, jako u metody nejbližšího souseda. Přibývá zde pouze sloupec a řádek, který je využíván pro zápis jednotlivých diferencí. V následujících krocích bude uveden podrobný postup metody.

1. krok: Výpočet pomocí Vogelovy aproximační metody je zahajován v počáteční tabulce vzdáleností jednotlivých měst. Pro každý řádek a pro každý sloupec jsou spočteny difference (rodíly) mezi dvěma nejnižšími hodnotami.

	Pra.	Plz.	Přib.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sed.	
Pra.	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59	2
Plz.	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93	29
Pří.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32	24
Mod.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49	4
Lib.	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39	6
Str.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49	10
Přis.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70	4
Ben.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29	5
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94	6
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111	4
Sed.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-	3
	2	29	24	4	6	10	4	5	6	4	3	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 9 Výpočet prvních diferencí

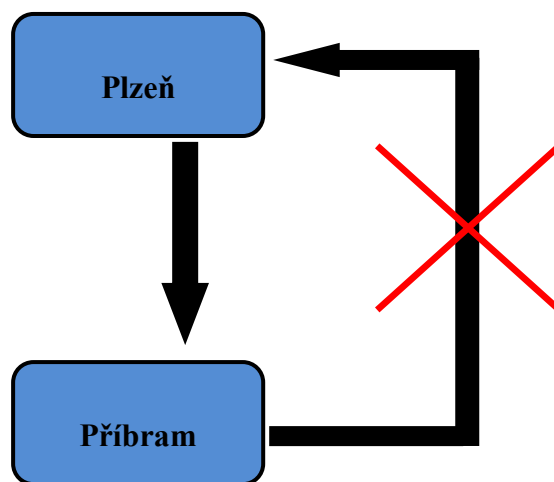
2. krok: V přidáném modrém sloupci a řádku jsou zobrazeny vypočtené difference. Následně je nutno vyhledat nejvyšší z nich, kterou je v daném případě difference o hodnotě 29. V jejím řádku se žlutě označí pole s nejuhodnější sazbou, tedy pole s hodnotou 62. Pokud by se vyhledávaly difference ze sloupců, vyšel by na konci výsledek shodný, jen by měl opačný směr.

3. krok: Nyní je zapotřebí vyškrtnout zbytek polí z tohoto řádku (z Plzně se již do žádného jiného města jet nesmí) a třetí sloupec (do města Příbram se již z žádného dalšího města přímo nepojede). Tato eliminace řádků a sloupců je prováděna, aby došlo k zabránění předčasného ukončení okruhu, tudíž se nesmím opomenout vyškrtnutí pole opačného s identickou hodnotou, které znázorňuje přímý zpětný spoj (Příbram - Plzeň). Tímto vzniká první spoj z celkového okruhu.

	Pra	Plz.	Příb.	Mod.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sed.	
Pra.	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59	2
Plz.	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93	29
Pří.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32	24
Mod.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49	4
Lib.	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39	6
Str.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49	10
Přis.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70	4
Ben.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29	5
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94	6
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111	4
Sed.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-	3
	2	29	24	4	6	10	4	5	6	4	3	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 10 Eliminace a obsazování polí



Obr.7: První část okruhu

Zdroj: Vlastní zpracování

4. krok: V dalším kroku je zapotřebí přepočítat jednotlivé diference. Výpočet druhých diferencí se od prvního liší tím, že se provádí pouze z neoznačených a neeliminovaných buněk.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sed.	
Pra.	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59	2
Plz.	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93	X
Pří.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32	24
Mod.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49	4
Lib.	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39	6
Str.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49	10
Přis.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70	4
Ben.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29	5
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94	6
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111	4
Sed.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-	10
	2	2	X	4	6	10	4	5	6	4	3	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 11 Výpočet druhých diferencí

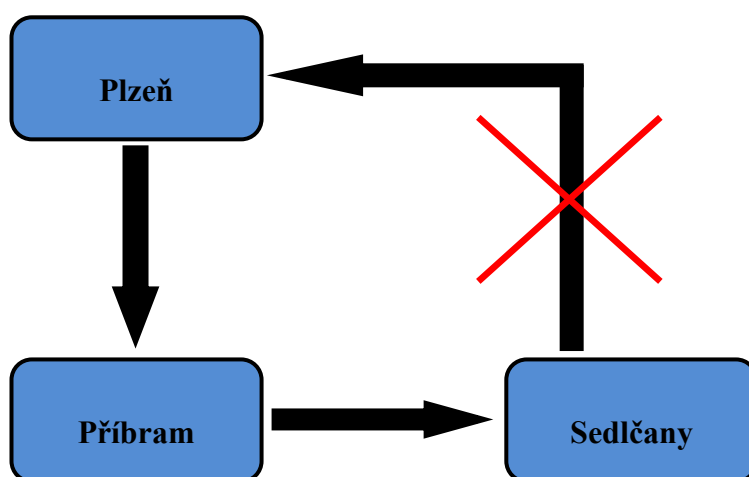
5. krok: Opět je hledána největší diference, která se nachází ve třetím řádku. V něm se vyhledá nejnižší sazba. Dojde k označení buňky s hodnotou 32 a vyskrtně se řádek Příbrami a sloupec Sedlčan. Dle správného postupu by se mělo následně vyškrtnout pole opačné, znázorňující přímé zpětné spojení, v tomto případě je však již vyškrtnuté.

Je zde však ještě jedno pole, které se musí z matice vyškrtnout. Jde o pole, znázorňující spoj vedoucí ze Sedlčan do Plzně (pole s hodnotou 93). Vybráním tohoto pole v některém z následujících kroků by se totiž okruh předčasně ukončil. Tímto okamžikem se zjistil i druhý spoj okruhu, vedoucí z Příbrami do Sedlčan.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sed.	
Pra.	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59	2
Plz.	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93	X
Pří.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32	24
Mod.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49	4
Lib.	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39	6
Str.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49	10
Přis.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70	4
Ben.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29	5
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94	6
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111	4
Sed.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-	10
	2	2	X	4	6	10	4	5	6	4	3	

Tabulka 12 Eliminace a obsazování polí

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr.8: Zabránění uzavření okruhu

Zdroj: Vlastní zpracování

6. krok: Tímto postupem se nakonec řešení dostane do fáze, kdy v matici sazeb budou zbývat poslední dvě neobsazená pole, která budou následně obsazena a tím se vytvoří náš konečný okruh. Než se však postup dostal do tohoto bodu, muselo být vypočteno celkem devět diferencí.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sed.	
Pra.	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59	X
Plz.	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93	X
Pří.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32	X
Mod.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49	X
Lib.	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39	X
Str.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49	X
Přis.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70	X
Ben.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29	28
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94	125
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111	X
Sed.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-	X
	X	125	X	X	28	X	X	X	X	X	X	

Tabulka 13 Fáze po posledním výpočtu diferencí

Zdroj: Vlastní zpracování

6.3.2.1 Výsledek VAM

Z výsledné tabulky je možné vypočítat, že v každém řádku a každém sloupci je díky správnému postupu obsazeno právě jedno pole. Zároveň se v tabulce nevyskytuje žádné pole, které by bylo neškrtnuté, či neobsazené. Z tabulkového znázornění se výsledek pozoruje hůře, tudíž je lepší si ho přepsat.

	Pra.	Plz.	Příb.	Modl.	Lib.	Str.	Přis.	Ben.	Měl.	MB	Sed.	
Pra.	-	91	59	22	20	26	35	43	47	58	59	X
Plz.	91	-	62	105	100	113	126	111	125	148	93	X
Pří.	59	62	-	62	56	69	89	59	95	117	32	X
Mod.	22	105	62	-	13	9	28	29	50	63	49	X
Lib.	20	100	56	13	-	19	41	28	56	73	39	X
Str.	26	113	69	9	19	-	24	23	55	65	49	X
Přis.	35	126	89	28	41	24	-	43	51	45	70	X
Ben.	43	111	59	29	28	23	43	-	76	85	29	28
Měl.	47	125	95	50	56	55	51	76	-	41	94	125
MB	58	148	117	63	73	65	45	85	41	-	111	X
Sed.	59	93	32	49	39	49	70	29	94	111	-	X
	X	125	X	X	28	X	X	X	X	X	X	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 14 Výsledná tabulka VAM

Pokud se spoje znázorněné v tabulce postupně pospojují do výsledného okruhu, vyjde pořadí měst ve výsledné trase takto:

1.	Praha	
2.	Modletice	22
3.	Strančice	9
4.	Přistoupim	24
5.	Mladá Boleslav	45
6.	Mělník	41
7.	Plzeň	125
8.	Příbram	62
9.	Sedlčany	32
10.	Benešov	29
11.	Libeň	28
12.	Praha	20
	Celkem	437

Tabulka 15 Seřazená trasa

Zdroj: Vlastní zpracování

Při použití této aproximační metody nám nejkratší trasa vyšla o délce 437 km, což je o 3 kilometry delší, než trasa vybraná metodou nejbližšího souseda. Tato skutečnost poukazuje na to, že ne vždy je použití Vogelovy aproximační metody vhodné, ač tato metoda patří k nejvyužívanějším.

I přes to však využití této metody přineslo zlepšení oproti trase využívané firemním kurýrem. Celková trasa byla zkrácena o 23 kilometrů, což by mohlo přinést úsporu na dopravních nákladech 73 Kč. Uváží-li se tedy, že řidič tuto trasu pojede celkem čtyřikrát v měsíci, mohla by firma měsíčně ušetřit 292 Kč na dopravních nákladech za palivo.

7 Zhodnocení výsledků

Pokud by došlo ke srovnání nejlepších výsledků obou metod, zjistilo by se, že je mezi nimi rozdíl 3 km. Hodnota tohoto rozdílu není nijak markantní, tudíž by se v daném případě mohly využít výsledné trasy obou aproximačních metod.

8 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala problematikou okružních dopravních problémů. Součástí úvodní části bylo vysvětlení pojmů jako logistika, dopravní logistika a distribuční úlohy, u nichž byly podrobně popsány jednotlivé postupy. V praktické části práce byly tyto aproximační metody aplikovány na okružní trasu poskytnutou firmou Amos typografické studio s.r.o. Tato trasa obsahovala 11 měst, které bylo nutno propojit jedním dopravním okruhem, a její původní délka byla 460 km.

Pro optimalizaci okruhu byla nejprve využita metoda nejbližšího souseda, jejíž výsledek přinesl značné zkrácení celkové délky okruhu. Výsledný okruh vyšel o 26 kilometrů kratší, než okruh původní. Následně byla použita i Vogelova aproximační metoda. Výsledný okruh této metody byl také uspokojivý, jelikož došlo ke zkrácení trasy o 23 kilometrů oproti původní trase.

Z výsledných čísel je zřejmé, že pořadí měst v původní trase nebylo pro délku okruhu zcela optimální. Vybraná trasa mohla být seřazena tak, že by byla kratší až o 26 kilometrů. Neznamená to však, že by tyto nově seřazené trasy měly být za každou cenu výhodnější, jelikož se při výpočtech metody soustředí pouze na vzdálenosti a faktory jako kvalita vozovky či povolená rychlost nejsou do výpočtů zakomponovány. Z těchto důvodů by v reálném případě nemuselo dojít ani k časové úspoře.

I přes fakt, že nedošlo k minimální požadované úspoře 200 Kč na jeden okruh, bude firma Amos typografické studio s.r.o. zvažovat využívání těchto metod pro budoucí plánování svých tras. Firma si především pochvaluje časovou nenáročnost daných metod a také to, že jejich výsledky mohou posloužit k inspiraci při plánování firemních dopravních tras.

9 Bibliografie

BROŽOVÁ, Helena, HOUŠKA, Milan. 2002. *Základní metody operační analýzy*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 80-213-0951-2

JABLONSKÝ, Josef. 2007. *Operační výzkum – kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional publishing. ISBN 978-80-86946-44-3.

KREJČÍ, Igor, KUČERA, Petr, VYDROVÁ, Hana. 2010. *TSPKOSA*. [Projekt] Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

PELIKÁN, Jan. 2001. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Praha: Professional publishing. ISBN 80-86419-17-7

PELIKÁN, Jan. 1993. *Praktikum z operačního výzkumu*. Praha: VŠE. ISBN 80-7079-135-7

PERNICA, Petr. 1995. *Logistika – vymezení a teoretické základy*. Praha: VŠE. ISBN 80-7079-820-3

SIXTA, Josef, MAČÁT, Václav. 2005. *Logistika – teorie a praxe*. Computer Press, a.s.. ISBN 80-251-0573-3

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

ZÍSKAL, Jan, HAVLÍČEK, Jaroslav. 2003. *Ekonomicko matematické metody II studijní texty pro distanční studium*. ČZU v Praze. ISBN 80-213-0664-5

O nás. Amos typografické studio. [Online] [Citace: 8. 10. 2014.] <http://www.amostypo.cz>