

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Diplomová práce

Využití modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy

Klára Vopatová

© 2016 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Klára Vopatová

Systemové inženýrství

Název práce

Využití modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy

Název anglicky

The Operations Research Models in the Transportation Management

Cíle práce

Cílem této práce je aplikace modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy. Práce bude sloužit pro firmu dodávající nápoje s cílem minimalizace nákladů díky zefektivnění dopravních tras mezi odběrateli a firmou. Dále má poskytnout firmě přehledné výstupy, které by mohla použít v praxi pro plánování a řízení dopravy.

Metodika

Práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická věnovaná logistice a některým matematickým modelům, které se v ní používají. Podrobněji budou rozebrány distribuční úlohy. Druhá část práce bude zaměřena na výpočty, kde podle nashromážděných a upravených dat budou vybrány trasy, které zvýší efektivitu provozu vybrané firmy. Výběr bude porovnán se stávající situací a doporučeny změny v praxi.

Doporučený rozsah práce

60-70 stran

Klíčová slova

doprava, optimalizace, dynamické okružní rozvozní úlohy, logistika, metoda větví a mezí

Doporučené zdroje informací

- [1] BROŽOVÁ, H. HOUŠKA, M.: Základní metody operační analýzy. 1.vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2003. ISBN 80-213-0951-2.
 - [10] PERNICA, P.: Logistika vymezení a teoretické základy. VŠE Praha, Praha, 1998, ISBN 80-7079-820-3.
 - [11] SIXTA, Josef, MAČÁT, Václav. Logistika: teorie a praxe. 1. Vydání. Praha: CP Books, 2005. 320 s. ISBN 80-251-0573-3
 - [12] ŠINDELÁŘ, Josef. Organizace a plánování automobilové dopravy: Vysokoškolská učebnice. 1. Vydání. Praha: Nadas, 1965. 232 s.
 - [13] ŠTŮSEK, J. Řízení provozu v logistických řetězcích. 1. Vydání. Praha:C.H.Beck, 2007.227 s. ISBN 978-80-7179-534-6
 - [14] TADEI, R., PERBOLI, G., DELLA CROCE, F.: A Heuristic Algorithm for the Auto-Carrier. Transportation Problem. Transportation Science, February 2002, vol. 36, no 1, s. 55-62.
 - [2] BROŽOVÁ, H., HOUŠKA, M., ŠUBRT, T.: Modely pro vícekritériální rozhodování. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003. ISBN 80-213-1019-3.
 - [3] DRAHOTSKÝ, I. ŘEZNÍČEK, J.: Logistika, procesy a jejich řízení. Computer Press, Brno, 2003, ISBN 80-7226-521-0.
 - [4] FÁBRY, Jan. Dynamické okružní rozvozní úlohy. Doktorská disertační práce. Praha : KEKO VŠE, 2006. 160 s. , dostupný z [www: <http://nb.vse.cz/~fabry/Disertace.pdf>](http://nb.vse.cz/~fabry/Disertace.pdf)
 - [5] JABLONSKÝ, Josef. Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 2. vydání. Praha:Professional Publishing, 2002. 323 s. ISBN 80-864-1942-8
 - [6] JABLONSKÝ, Josef. Programy pro matematické modelování. 1. vyd. Praha : Oeconomica, 2007. 260 s. ISBN 978-80-245-1178-8.
 - [7] KOSKOVÁ, I.: Distribuční úlohy I., Skriptum ČZU, PEF, Praha, 2006, ISBN 80-213-1156-8.
 - [8] PELIKÁN, J.: Praktikum z operačního výzkumu. Skripta VŠE, Praha, 1993, ISBN 80-7079-135-7.
 - [9] PELIKÁN, Jan. Diskrétní modely v operačním výzkumu. 1. vyd. Praha : PROFESSIONAL PUBLISHING, 2001. 164 s. ISBN 80-86419-17-7.
-

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Ludmila Dömeová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 21. 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 23. 03. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.03.2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé diplomové práce paní doc. Ing. Ludmile Dömeové CSc. za odborné vedení mé diplomové práce a návrhy, které ji obohatily.

Využití modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy

The Operations Research models in the Transporting management

Souhrn

Cílem práce je stanovit pokud možno optimální či suboptimální rozvozní plán, který by firmě ušetřil peníze i čas při rozvozu nápoje v plastových lahvích. Dalším cílem je vytvořit dostatečnou zásobu zboží v kamiónu pro případ, kdy přijde požadavek od zákazníka a nákladní automobil již je na své rozvážkové trase. S tímto souvisí i nové určení trasy, aby se nemusel znovu vracet do výchozího místa.

Ve vlastní části práce je proveden popis firmy a její konkrétní rozhodovací situace. Následuje optimalizace metodou větví a mezí a výpočet úspory najetých kilometrů. Dále byl navržen dynamický rozvozní plán, vypočítaný pomocí vkládacího algoritmu a re-optimalizace trasy. Dosažené výsledky byly zhodnoceny a navrženy firmě.

Klíčová slova: Doprava, distribuční úlohy, logistika, metoda větví a mezí, operační výzkum, optimalizace, problém obchodního cestujícího, silniční síť, statické a dynamické rozvozní úlohy.

Summary

The aim of this thesis is to set optimal or suboptimal plan of distribution which would save money and time to the company when distributing beverages in the plastic bottles. Further, this thesis aims to ensure sufficient amount of goods in a respective truck in case that demand formed by another customer arises. This closely relates to determining a new distribution plan in order to avoid returning of the truck back to point of departure.

The main part of this thesis focuses on a specific company, its description and its current decision-making situation. Subsequently, the optimization by branch and bounds method will follow and the calculation of mileage savings. Further, the dynamic Vehicle Routing plan will be found calculated using the algorithm of insertion and re-optimization of the route. The findings will be evaluated and presented to the company.

Keywords: Branch and bound method, distribution problems, logistics, operations research, optimization, roads network, static and dynamic vehicle routing problem, transport, traveling salesman problem.

Obsah

1	ÚVOD.....	9
2	CÍL PRÁCE A METODIKA.....	11
3	PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
3.1	LOGISTIKA	12
3.2	PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ DOPRAVY.....	14
3.3	OPERAČNÍ VÝZKUM.....	19
3.4	DISKRÉTNÍ MODEL Y	22
3.5	DISTRIBUČNÍ ÚLOHY	24
3.6	OKRUŽNÍ ÚLOHY	25
3.7	ROZVOZNÍ ÚLOHY (vehicle routing problem).....	27
3.7.1	Rozvozní úloha s jedním vozidlem.....	28
3.7.2	Rozvozní úloha s více vozidly v jednom výchozím místě.....	31
3.8	METODA VĚTVÍ A MEZÍ.....	33
4	FIRMA.....	35
4.1	SOUČASNÁ SITUACE ZAKÁZKY A FUNGOVÁNÍ VE FIRMĚ	36
4.2	OPTIMALIZACE SOUČASNÉ SITUACE.....	41
4.2.1	Jedna trasa.....	41
4.2.2	Dvě a více rozvozních tras.....	46
4.3	DYNAMICKÉ ŘEŠENÍ.....	52
4.3.1	Výpočet vkládacím algoritmem.....	52
4.3.2	Výpočet re-optimalizace	55
5	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	59
6	ZÁVĚR.....	60
7	CITOVANÁ LITERATURA	62
8	PŘÍLOHY	65

1 ÚVOD

Doprava je dnes nedílnou součástí každé země, ať už se jedná o přepravu osob nebo zboží či materiálu. Lze ji roztrždit podle druhu dopravních cest na silniční, říční, železniční, leteckou či potrubní. V České republice je nejvíce využívána silniční doprava, díky husté, ale stále nedostačující síti silnic. To má negativní dopad na životní prostředí, ale zatím je to nejrychlejší a hlavně nejlevnější druh dopravy na krátké až střední vzdálenosti. Zaslouhou toho všeho je nepřehledné množství firem a společností, které se věnují logistice, především nákladní dopravě.

Jednou z nich je firma, která podniká v oblasti nákladní silniční dopravy a u které jsem měla možnost i pracovat. Její hlavní náplní práce je převážet materiál a zboží, ale hlavně nově i rozvoz nápojů v plastových lahvích. Firma neměla doposud zkušenosti s takovou zakázkou, ale přesto ji přijala a začala rozvážet nápoje. Postupem času zjistila, že neorganizované rozvážení vede k vysokým nákladům, dokonce i ke ztrátě na místo zisku. O snížení provozních nákladů na minimalní úroveň se dnes snaží všechny firmy. Tato situace vedla k tomu, že mě daná firma oslovila, protože věděla že studuji Systémové inženýrství a mám znalosti z logistiky, především z oblasti dopravních úloh a mohla bych pomoci.

V této diplomové práci na téma „Využití modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy“ budu popisovat, kdy a jak lze plánovat dopravu. Zaměřím se především na distribuční úlohy, hlavně na okružní a s nimi úzce související rozvozní úlohy. Za pomoci matematického modelu rozvozní úlohy budu optimalizovat dopravní trasy, které by měly ušetřit již zmiňované náklady. Rozvozní úlohy jsou ve světě známe pod názvem „Vehicle routing problem“ a v posledních pár letech je jim věnovaná velká pozornost. Cílem je vyjít z počátečního bodu, projít všechna místa právě jednou a vrátit se zpět, aby délka trasy byla nejkratší. Kromě podmínek, že okruhy musí obsahovat všechny města do kterých se rozváží, je také potřeba znát kapacitu vozidla a požadavky odběratelů. V diplomové práci použijeme pro výpočet tras software (TSP KOSA a LINGO), který bude provádět výpočet za pomoci optimalizačních metod, což je například metoda „Větví a mezí“, a měl by nám poskytnout optimální řešení. Lze také použít aproximační metody, které neposkytují optimální, ale suboptimální řešení, které je v praxi velmi dobře použitelné.

V praktické části bude nejdříve podrobně popsána již zmiňovaná firma a současné fungování a realizace rozvážkové zakázky. Bude potřeba zhodnotit stávající situaci a možnosti společnosti a nabídnout lepší a efektivnější řešení, pokud to bude možné. Dalším

z problémů, které firma má, je velký přírůstek odběratelů. To znamená nárůst počtu měst, do kterých firma jezdí rozvážet zboží. Tento problém je řešitelný za pomoci dynamické rozvozní úlohy, která předpokládá, že do systému přijde objednávka na dodávku zboží, ale vůz už je na předem stanovené trase. Řešení bude opět za pomoci softwaru LINGO.

2 CÍL PRÁCE A METODIKA

Cílem této práce je aplikace modelů operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy. Práce bude sloužit pro firmu, rozvážející zdravý nápoj, vyrobený z čistě přírodních surovin. Rozvoz začíná ve skladu a dále vůz rozváží zboží k odběratelům a vrací se zpět, s cílem snížit náklady, díky zefektivnění dopravních tras a lepšímu využití kapacity vozidel. Dalším neméně důležitým cílem je uspokojení zákazníků. Dále má práce poskytnout firmě přehledné výstupy, které by mohla použít v praxi pro plánování a řízení dopravy.

Práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická, věnovaná logistice, plánování, řízení dopravy a operačnímu výzkumu společně s vybranými matematickými modely, které se v ní používají a metody výpočtu. Podrobněji budou rozebrány distribuční úlohy. Zaměření bude zejména na rozvozní úlohy a dynamické rozvozní úlohy.

V druhé polovině bude představena dopravní firma, která dostala zakázku na rozvoz nápojů. Bude popsáno současné fungování ve firmě na této zakázce a následná optimalizace. V práci budou použity matematické modely pro rozvozní úlohu. Tyto modely budou vypočítány pomocí metody větví a mezí. Z upravených výstupů pro firmu, budou vybrány trasy, které zvýší efektivitu provozu. Výběr bude porovnán se stávající situací a budou doporučeny změny v praxi. Dále bude poukázáno na možnost příchodu nového požadavku v době, kdy se realizuje rozvážka. Tento problém bude řešen vkládacím algoritmem a reoptimalizací. Následné porovnání a řešení by mělo pomoci dispečerům ve firmě. Veškeré výpočty budou realizovány v softwaru Lingo a v TSP KOSA.

3 PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

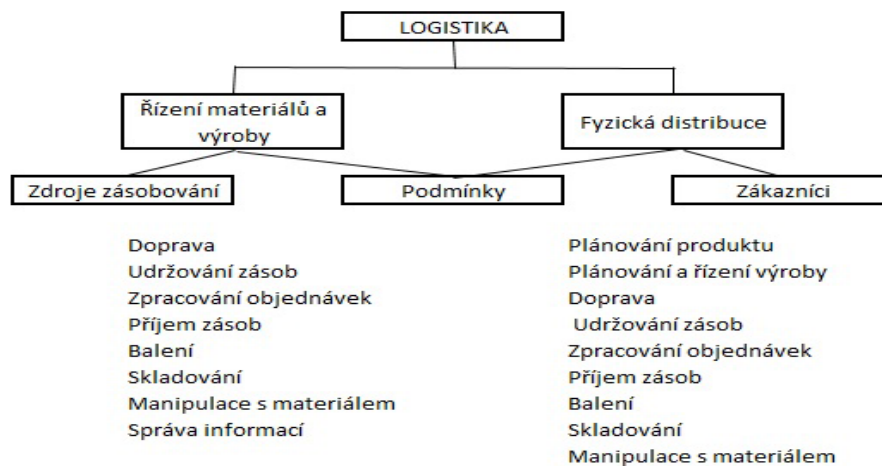
3.1 LOGISTIKA

Logistika je disciplína, která se zabývá celkovou optimalizací, koordinací a synchronizací všech aktivit v rámci samoorganizujících se systémů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného efektu. (1)

Logistika je dnes běžným pojmem, jehož obsah chápe i laik, jako nauku o řešení zásobovacích a zabezpečovacích problémů v různých oborech společenského života. Ve skutečnosti jde o řešení oběhových problémů bez ohledu na formu organizace. (2)

Logistika patří k relativně mladým vědním disciplínám, jejichž počátky lze datovat do padesátých let minulého století. Původ logistiky bývá odvozen od řeckého slovního základu logistikon (důmysl, rozum) nebo logos (slovo, řeč, myšlenka, pojem, rozum, zákon, pravidlo, smysl). Historické kořeny sahají do 9. století, kdy se její prvky objevují v armádě, kde sloužily ke správnému odhadnutí situace pro manévrování, zásobování armády jídlem a volbu taktiky. V roce 1600 se význam pojmu posunuje směrem k praktickému počítání s čísly. Renesance původního předmětu logistiky nastala během druhé světové války, kdy objemy přepravy bojové techniky, munice, ženijního a pomocného materiálu a zejména vojáků enormně narůstaly a nároky na rychlost a načasování zásobování vyžadovaly specializaci potřebných činností. (2)

Vše co se ve válce osvědčilo a nepodlehlo embargu, se přesunulo do civilní výroby, tomu se nevyhnula ani logistika. Podstatným impulsem pro ustanovení logistiky jako vysoce sofistikované disciplíny byl postupný přechod z trhu výrobce, charakteristického omezeným sortimentem výrobků převážně na sklad, na trh zákazníka, který je charakteristický tím, že se rozšířil výrobní sortiment a zákazník si začal diktovat požadavky, které výrobce realizuje. Problematice logistiky se v současné době dostává velká míra pozornosti. Je to důsledek liberalizace světového obchodu, exploze informační technologie, globalizace světového trhu, jenž vede ke vzniku podniků operujících na celosvětové bázi a konečně i důsledek orientace podniků na oblast kvality a spokojenosti zákazníků. Dnes logistika disponuje širokou paletou technických prvků, technologických směrů, metodických postupů a forem organizace. (2)



Obrázek 1: Rozdělení logistických aktivit (3)

Logistické aktivity, realizované v logistických systémech, se v různých společnostech do značné míry liší. Důvody pro to mohou být následující: (2)

- zvláštní organizační struktura firmy,
- legitimní rozdíly mezi názory managementu na to, co má tvořit logistiku,
- relativní důležitost různých aktivit pro provozní činnost firmy,
- okolní prostředí, zejména infrastruktura a úroveň služeb zjednodušující hmotné i informační toky.

Rozdělení logistických aktivit najdeme na obrázku 1. (3) Logistické aktivity, které mohou být vhodnou součástí logistického systému, můžeme rozčlenit na klíčové aktivity a na podpůrné aktivity. Klíčové aktivity se realizují v každém logistickém kanálu, zatímco další podpůrné aktivity se budou realizovat v dané firmě podle okolností. Klíčové aktivity logistiky jsou soustředěny v následujících procesech řízení, a to: (2)

- řízení služeb zákazníkům (potřeby a požadavky zákazníků, odezva zákazníků na služby, stanovení úrovně služeb zákazníkům),
- řízení cyklu objednávek (metody přenosu informací o objednávkách, postup mezi nákupními a prodejními objednávkami a zásobami),
- řízení zásob (strategie zásobování surovinami a hotovými výrobky, prognózování krátkodobého odbytu, skladba zásob, stanovení metod řízení materiálu),

- řízení výroby (plánování výrobního programu, termínů a kapacit a řízení výrobního procesu),
- řízení distribuce (rozhodování o distribučním kanálu, stanovení počtu, velikosti a umístění zásobovacích center),
- řízení dopravy (výběr typu dopravy a služeb, časové plánování dopravy, stanovení postupu nakládky a vykládky, stanovení přepravních tras, zpracování požadavků).

Doprava a zásobování jsou z logistických aktivit těmi nejdražšími procesy, náklady na ně činí obvykle něco mezi polovinou a dvěma třetinami z celkových logistických nákladů. Z hlediska teorie logistiky, doprava přidává k produktu či službě hodnotu místa i času. Zásoby přidávají hodnotu časovou a kapacitní. Náklady na zpracování objednávek bývají relativně nízké ve srovnání s ostatními aktivitami logistického systému. Tato položka ovšem zůstává důležitým prvkem v celkovém čase, který trvá, než se zboží nebo služba dostanou k zákazníkovi. Právě tato aktivita, náklady na zpracování objednávek navíc spouští účinný pohyb zboží a dodávek služeb. V extrémních případech je může zbrzdit. (2)

Podpůrné aktivity mohou být v konkrétních podnicích důležité jako aktivity klíčové. V některých případech nemusí být podpůrné aktivity zastoupeny vůbec. (2)

Z pohledu řízení je logistika časově závislé umístění zdrojů nebo strategické řízení celého logistického řetězce. Logistický řetězec je sekvencí událostí zaměřených na uspokojení zákazníka. Může zahrnovat zadání, výrobu, distribuci i likvidaci odpadů ve spojení s přepravou, skladováním a informačními technologiemi. (2)

3.2 PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ DOPRAVY

V oblasti dopravy začala logistika nabývat významu na přelomu 70. a 80. let minulého století, kdy došlo k deregulaci dopravního průmyslu. Nastal nárůst konkurence v rámci jednotlivých druhů doprav i mezi druhy navzájem. Přepravci získali více možností dopravy, stali se pružnějšími a konkurenceschopnějšími. Doprava jako taková zajišťuje přesun výrobků v prostoru, z místa výroby do místa spotřeby, a zvyšuje tak jejich hodnotu. Dále pak ovlivňuje rychlost a spolehlivost, s jakou se tento přesun uskuteční. Včasné a kvalitní dodání výrobku zvyšuje přidanou hodnotu pro zákazníka a tím i úroveň

zákaznického servisu. Náklady spojené s přepravou jsou ale jedny z největších v logistice a často se významnou měrou podílejí na ceně výrobku. (4)

Zajišťování požadované úrovně zákaznického servisu je významnou součástí logistického řízení. Dopady přepravy na zákaznický servis jsou jedny z nejdůležitějších. Přepravní servis musí být především spolehlivý, významnou úlohu hraje doba přepravy a pokrytí trhu. Pro zákazníky je též významná pružnost v poskytování přepravních služeb a řešení ztrát či poškození. Využití logistiky ve výrobních a obchodních organizacích klade na dopravní firmy, které chtějí logistické služby poskytovat, mnohé požadavky. Jestliže tyto firmy chtějí být na trhu úspěšné, musí se orientovat na logistické potřeby svých zákazníků, jejich výrobní proces, směnnost, charakter vyráběné produkce apod. Doprava umožňuje propojení jednotlivých částí logistického řetězce. Tento úkol je pro dopravu podstatně jednodušší, pokud přepravní prostředky mohou plnit i určité funkce manipulační, skladovací a obalové jednotky. (4)

Doprava je zabezpečována různými podnikatelskými subjekty, které jsou navzájem propojeny v poměrně složitý dopravní systém. V jeho rámci fungují jednotlivé dílčí dopravy jako podsystem. Dopravní organizace, které působí v tomto složitém systému, pak mohou být různě zaměřeny pouze na určitou oblast přepravní práce a služeb s ní souvisících, nebo provozovat činnost v rámci několika dílčích dopravních podsystemů. (4)

Doprava je jednou z nejvýznamnějších složek dodavatelského řetězce od dodavatelů surovin až ke konečnému spotřebiteli. Její funkce je zabezpečit pohyb zboží v rámci oběhových i výrobních procesů. Je i významnou součástí spojovacího článku mezi výrobou a zákazníkem, kterou se zabývá fyzická distribuce zboží. Doprava je záměrná pohybová činnost, která spočívá v přemístění věcí nebo osob prostřednictvím pohybu dopravních prostředků po dopravních cestách. Její úlohou je optimálně uspokojovat přepravní potřeby v oblasti přemístění lidí i hmotných statků. V oblasti hmotných statků zabezpečuje přemístění ve všech třech fázích reprodukčního procesu, jak ve sféře výroby, oběhu i spotřeby. Obecně lze dopravu charakterizovat těmito zvláštnostmi: (4)

- nutné přemístění, není možno skladovat,
- vykazuje značnou časovou i směrovou nerovnoměrnost,
- je závislá na kapacitě dopravních cest i dopravních prostředcích,
- uskutečňuje se na rozsáhlých územích a sítích,
- je silně vzájemně provázaná a probíhá často nepřetržitě,

- je závislá na rozvoji výroby a ekonomické situaci dané oblasti,
- vyžaduje vysoké investiční náklady a dlouhou návratnost vložených investic,
- využívá mezinárodní spolupráci.

Podíl logistických nákladů, zahrnujících zásobování, skladování, balení a dopravu materiálu na hrubém národním produktu se neustále zvyšuje. Výše logistických nákladů na celkových nákladech na výrobu zboží je přímo úměrná hospodářské vyspělosti jednotlivých zemí. (4)

Cílem logistických systémů je maximalizovat efektivnost výrobních a oběhových procesů. Moderní doprava jako integrální součást těchto systémů by měla vycházet ze stejných principů a pro zabezpečení svého optimálního fungování v těchto systémech využívat moderních metod a prostředků řízení. Přednosti logistických dopravních systémů se nejlépe uplatňují v dobře fungujícím tržním hospodářství, kde jednotlivé podnikatelské subjekty svobodně rozhodují o svých aktivitách. Zákazníka budou jistě zajímat údaje, týkající se náplně, kvality a ceny poskytovaných služeb. Například možnost zabezpečení dopravních služeb, typy a parametry dopravních prostředků, rychlost přepravy, pravidelnost a spolehlivost dopravní obsluhy, další služby, ceny za způsob přepravy, vzdálenost a ceny za služby. Na druhou stranu dopravci se budou snažit získat údaje o přepravních požadavcích včetně těch, které zatím jejich nabídka neuspokojila, nebo které se v budoucnu budou měnit. Je to požadované množství přepravených tun, předpokládané směry a vzdálenosti přeprav, požadavky na typ vozidla a údaje o zboží, jehož přeprava připadá v úvahu. (4)

U podniků je třeba rozhodnout zda vůbec pro vnější dopravu vytvořit a používat vlastní, nebo využívat služeb jiných organizací. Vlastní doprava má své kladné i záporné stránky. Záleží na konkrétních podmínkách v jednotlivých organizacích i záměrech jejich managementu. Používání vlastní podnikové dopravy pro přemísťování zboží a polotovarů po veřejných komunikacích může mít tyto výhody: (4)

- při náhle vzniklých potřebách je operativnější,
- používání dopravních prostředků specializovaných na přepravovaný materiál, pokud v podmínkách daných organizací budou speciální dopravní prostředky dostatečně využity,
- obsluha dopravních prostředků může být lépe seznámena s vlastnostmi přepravovaného materiálu a požadavky na jeho přepravu.

Při vlastním zajišťování vnější dopravy po veřejných komunikacích jde ve většině případů o silniční dopravní prostředky. Použití vlastní automobilové dopravy může být výhodné v případech, kdy jde o přepravu zboží vyžadující mimořádnou zvláštní péči, kterou by veřejná doprava nedokázala zajistit, nebo by ji zajistila za příliš vysokou cenu. V ostatních případech je třeba zvažovat všechny klady a zápory uplatnění vlastní dopravy. Vždy je však důležité, aby použité dopravní prostředky a jejich řidiči byli dostatečně využiti. V opačném případě bude jejich malé využití příliš zvyšovat náklady na zajištění těchto přeprav. Využití nákladních automobilů je možno sledovat z hlediska využití času, využití kapacity a využití jízd. V dopravních prostředcích automobilové dopravy jsou vzhledem k jejich stále dokonalejšímu technickému vybavení vázány značné hodnoty. Proto má jistě každá organizace zájem, aby zde tyto prostředky nebyly umrtveny, ale aby přinášely efekt a musí proto sledovat jejich využití. (4)

Nejrozšířenějším druhem nákladní dopravy u nás je silniční nákladní doprava, která přepravuje nejvíce zboží v tunách a dociluje nejvyšších přepravních výkonů v tunových kilometrech¹. Je vhodná pro zabezpečení přímé přepravy zvláště hodnotnějších druhů zboží na krátké, střední i dlouhé přepravní vzdálenosti. Vzhledem ke své rychlosti a spolehlivosti je vhodná pro uplatnění v logistických systémech. Silniční doprava umožňuje nejširší pokrytí trhu. Její flexibilita je do značné míry dána hustotou silniční sítě. Pro svou univerzálnost většinou nejlépe vyhovuje požadavkům zákazníků, a proto se objem zboží přepravovaného autodopravci stále zvyšuje. (4)

Mezi základní přednosti silniční dopravy patří značná flexibilita v oblasti přizpůsobování měnícím se požadavkům zákazníků. Je až na malé výjimky schopna zajistit přepravu mezi kterýmikoliv místy nakládky a vykládky. Disponuje různorodým dopravním parkem, jehož výběr pro přepravní nasazení je možno velmi těsně přizpůsobit povaze zásilky a požadovanému způsobu zajištění přepravy. S rostoucí přepravní vzdáleností však poměrně rychle rostou její náklady na přepravu. Vzhledem k tomu, že je schopna zajistit přímou bezpřekládkovou přepravu rychle se kazícího zboží i ochranu cennějšího zboží, uplatňuje se ve vhodných případech i na delší vzdálenosti. Většinou splňuje nejdůležitější požadavky logistických systémů na rychlost a pravidelnost a proto se prosazuje stále více. (4)

¹ Tarifní tunový kilometr (ttkm) je ukazatel, který charakterizuje výkon při přepravě zboží podle tarifní vzdálenosti. Tarifní vzdálenost je dána kilometrovníkem a používá se k výpočtu přepravného. Jeden ttkm se rovná přepravě jedné tuny zboží na tarifní vzdálenost jednoho kilometru.

Cílem logistiky na všech úrovních je maximalizovat efektivnost oběhových procesů. K tomu je nutné, aby byl vytvořen řídicí systém, který vedle řízení technologických procesů v jednotlivých činnostech oběhového procesu za pomoci všech s tím spojených informačních procesů optimalizuje, s využitím exaktních a heuristických metod, celkový efekt oběhového procesu. Takový systém je označován jako logistický. Dopravní systém, který vyhovuje logistickému řízení oběhových procesů, označujeme jako logistickou dopravu. Nabídku kapacity logistické dopravy ovlivňuje několik faktorů: (4)

- kapacita prostředků využívaných logistickou dopravou,
- kapacita dopravních prostředků,
- soulad kapacit dopravních cest, uzlů a prostředků,
- optimální technologie dopravního procesu.

Takto definovaná nabídka kapacity logistické dopravy je označována jako technologická kapacita dopravy. Dopravní soustava v logistickém systému je funkční, pokud jsou ve vzájemné proporcionalitě následující tři faktory: (4)

- logistická objednávka dopravy-určuje kvalitativní úroveň přepravy,
- technologická kapacita dopravy,
- kvalita přepravy.

Mezi výše uvedenými faktory jsou těsné interaktivní vazby. Rozvoj technologické kapacity dopravy ve vazbě na kvalitu přepravy a logistickou objednávku dopravy ovlivňuje dynamiku rozvoje výrobních struktur, ale i rozvoj regionů. Produktem dopravy nejsou hmotné statky, ale nehmotný užitečný efekt přemístění. V dopravě mohou nastat dva druhy ztrát, a to přeprava zbytečná např. přeprava surovin, které lze ve stejné kvalitě a ceně získat z místních zdrojů nebo z blíže položených lokalit a přemístění nesplní svou funkci vinou dopravy, to je zásilka dodána po lhůtě určené ke spotřebě. (4)

Dopravu je tedy nutné řídit z hlediska optimální dělby práce mezi jednotlivými druhy dopravy k zabezpečení objednávky, optimální kvality přepravy a minimalizace nákladů. Kvalita dopravy ovlivňuje optimalizaci nákladů na oběhové procesy. Je všeobecně známo, že čím kvalitnější dopravu lze poskytnout, tím více lze omezit rozsah skladování a tím i manipulaci s materiálem. (4)

3.3 OPERAČNÍ VÝZKUM

Operační výzkum je možné charakterizovat jako soubor relativně samostatných disciplín, které umožňují vyřešit problém většinou ve smyslu nalezení nejlepšího tzv. optimálního řešení. (5) Poměrně dobře lze však přiblížit podstatu operačního výzkumu, pokud tento termín vyjádříme jako výzkum operací. Takto upravený termín říká mnohé jak o podstatě, 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. (6)

Není jednoduché a v podstatě ani možné datovat vznik operačního výzkumu jako samostatné disciplíny. Počátky operačního výzkumu spadají už do 30. a 40. let dvacátého století a jsou spjaty mimo jiné s takovými jmény jako jsou nositelé Nobelovy ceny za ekonomii G.B. Dantzig nebo L. Kantorovič. Rozvoj této disciplíny nastává jednak během 2. světové války, kdy byly vytvořeny ve Velké Británii a USA speciální týmy pracovníků pro analýzu složitých strategických a taktických vojenských problémů a operací, ale především potom během 50. let, ve kterých dochází ve světě k bouřlivému poválečnému ekonomickému rozvoji. Rozvoj operačního výzkumu a jeho jednotlivých disciplín vyplýval v tomto období skutečně z praktických potřeb. Některé metody a postupy dále obecně používané byly vyvinuty v rámci konkrétních praktických studií. Dalším faktorem, ovlivňujícím rozvoj operačního výzkumu, je rozvoj výpočetní techniky, intenzita pořádaných konferencí a nové publikace v odborných časopisech. (6)

Seznam základních disciplín patřících do operačního výzkumu je uveden spolu s orientačním letopočtem, který lze považovat za rok jejich vzniku: (7)

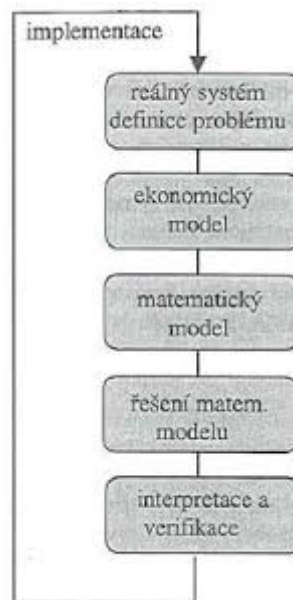
- Strukturní analýza (1939)
- Teorie her (1944)
- Simulační modely (1946)
- Lineární programování (1947)
- Modely hromadné obsluhy (1951)
- Nelineární programování (1951)
- Modely řízení zásob (1951)
- Dynamické programování (1957)
- Síťová analýza, řízení projektů (1957)

- Vícekriterální optimalizace (1970)

Cílem operačního výzkumu je přitom stanovit takovou úroveň provádění těchto operací nebo jejich vzájemný vztah tak, aby bylo zajištěno co možná nejlepší fungování celého systému. Pro posouzení toho, zda systém funguje hůře či lépe je přitom třeba stanovit nějaké kritérium či kritéria. Provádění operací v systému nemůže být absolutně nezávislé, ve všech případech závisí na omezených zdrojích, které jsou při těchto operacích čerpány. Operační výzkum je možné tedy charakterizovat i jako prostředek pro nalezení nejlepšího řešení daného problému při respektování celé řady různorodých omezení, které mají vliv na chod systému. (8)

Základním nástrojem operačního výzkumu je matematické modelování. Při analýze reálného systému prostřednictvím jeho modelu je třeba brát v úvahu, že model je pouze zjednodušeným obrazem tohoto systému. Modelování má však celou řadu výhod, pro které se stává často jediným prostředkem pro studium modelového systému. (8)

Při aplikaci některého z odvětví operačního výzkumu pro řešení reálného rozhodovacího problému lze rozlišit několik základních, na sebe navazujících fází, které jsou patrné z následujícího obrázku. (8)



Obrázek 2: Fáze při aplikaci operačního výzkumu (8 str. 11)

1. Rozpoznání problému v rámci reálného systému a jeho definice je prvním podstatným krokem aplikace modelů operačního výzkumu.

2. Formulace ekonomického modelu daného problému. Reálný systém je docela složitý na to, aby bylo možné modelově zachytit všechny jeho stránky. Ekonomický model by měl obsahovat cíl analýzy, popis procesů, popis činitelů a vzájemné vztahy mezi vším.
3. Formulace matematického modelu, který obsahuje stejné prvky jako ekonomický, samozřejmě však v jiném vyjádření. Cíl analýzy je zpravidla vyjádřen ve formě lineární či nelineární funkce. Procesům probíhajícím v systému odpovídají v matematickém modelu proměnné a intenzity jsou vyjádřeny jako hodnoty těchto proměnných. Činitelé jsou lineární či nelineární rovnice a nerovnice.
4. Vlastní řešení je technickou záležitostí. Většina metod operačního výzkumu je dnes zabezpečena kvalitními programovými systémy.
5. Interpretace získaných výsledků však nestačí, je třeba výsledky verifikovat, a tím ověřit zda byl ekonomický a následně matematický model problému sestaven správně.
6. V případě úspěšné verifikace výsledků lze přistoupit k jejich implementaci v rámci analyzovaného reálného systému. Úspěšná implementace by měla přispět ke zlepšení fungování daného systému s ohledem na sledovaný a v modelu definovaný cíl.

Úlohám, které jsou doplněny o podmínky celočíselnosti, tj. o podmínky, které zabezpečují, aby všechny nebo některé proměnné nabývaly pouze celočíselných hodnot, říkáme jim úlohy celočíselného lineárního programování. Tyto podmínky vyplývají většinou bezprostředně z formulace ekonomického modelu daného problému. Vyjadřuje-li se například v ekonomickém modelu úroveň nějakého procesu, jako je počet kusů nebo počet opakování nějaké aktivity, potom je zřejmé, že hodnoty odpovídajících proměnných v matematickém modelu musí být celočíselné. Kromě obecných celočíselných podmínek se mohou v úlohách lineárního programování vyskytovat podmínky, aby proměnné nabývaly pouze hodnot 0 nebo 1. Takové proměnné se označují jako bivalentní proměnné nebo binární či nulajedničkové proměnné. Tyto proměnné se používají ve formulacích přiřazovacího problému, okružního dopravního problému a v úlohách o pokrytí a modeluje se s nimi situace, ve kterých je třeba rozhodnout, zda nějaký jev nastane nebo nenastane. Úlohy

celočíselného programování, které obsahují pouze bivalentní proměnné, se někdy označují jako úlohy bivalentního programování. (6)

Řešení úloh celočíselného programování, které se v praxi vyskytuje velmi často, je většinou výpočetně velmi náročné. Pro všechny základní typy úloh celočíselného programování existují sice algoritmy, u kterých je za určitých podmínek dokázána konvergence k optimálnímu řešení, ale řešení úloh větších rozměrů může být však natolik výpočetně náročné, že je se současnými technickými prostředky prakticky nerealizovatelné. Pro řešení celočíselných úloh nelze použít standardní simplexovu metodu, byly proto navrženy speciální algoritmy pro řešení celočíselných úloh. Do první skupiny patří metody řezných (sečných) nadrovin, které jsou vhodné pro řešení ryze i smíšeně celočíselných úloh lineárního programování, ve kterých jsou uvažovány obecné podmínky celočíselnosti a nejsou vhodné pro bivalentní úlohy. Typickým zástupcem je Gomoryho metoda. Druhá skupina jsou kombinatorické metody. Jsou univerzálním nástrojem pro řešení většiny celočíselných úloh. Ryze celočíselné úlohy mají konečný počet celočíselných řešení, smíšené mají konečný počet kombinací hodnot celočíselných proměnných. Podstatou kombinatorických metod je jejich efektivní prohledávání. Významným zástupcem této skupiny je Metoda větvení a mezí. Třetí skupina jsou speciální metody, které byly navrženy pro řešení speciálních typů celočíselných úloh lineárního programování. Patří sem Maďarská metoda, ale rovněž i různé speciální přibližné algoritmy pro řešení okružního dopravního problému a dalších rozvozních úloh, pro které lze nalézt exaktní optimální řešení jen velmi obtížně nebo ho nelze zatím nalézt vůbec. (6)

3.4 DISKRÉTNÍ MODELY

Diskrétní modely operačního výzkumu jsou takové matematické modely, které obsahují diskrétní matematické struktury jako například celočíselné proměnné, diskrétní množiny. Modely diskrétního typu jsou v praxi užívány zejména v těch případech, kdy se jedná o rozhodování mezi konečně mnoha variantami, a tedy existuje konečný počet možných řešení. Protože v těchto diskrétních problémech je počet možných variant konečný, řešení těchto diskrétních úloh se zdá být jednoduché, neboť prostým porovnáním všech možných variant, bychom měli dojít k optimálnímu řešení. To ale lze pouze u úloh s malým počtem variant. V úlohách z praxe je většinou množina možných variant značně rozsáhlá a ani nejvýkonnější výpočetní technika není schopna tuto množinu variant zpracovat

v rozumném čase. Proto je nutné přistoupit k efektivnějším algoritmům výpočtu optimálního řešení, případně pokud ani ony nedávají optimální řešení v reálném čase, přistoupit k hledání nějakého přibližného, suboptimálního řešení. (9)

Jak bylo již naznačeno, jde o optimalizační úlohy, ve kterých jsou dány omezující podmínky ve formě nerovností a rovnic, vyplývající z podmínek kladených na řešení dané úlohy a účelové, kriteriální funkce, kterou máme maximalizovat nebo minimalizovat. Na rozdíl od lineárního programování, které řeší obdobnou úlohu, některé případně všechny proměnné diskretního modelu jsou diskretní, tedy vázány podmínkou celočíselnosti. Popis problému z praxe matematickými prostředky, tedy matematická formulace problému, je vždy prvotní, základní a v podstatě nealgoritmizovatelnou částí řešení problému. Zde nelze využít výpočetní techniku, model je tvůrčí činností, při které řešitel musí abstrahovat od nepodstatných okolností problému, postihnout jádro problému a umět ho zapsat ve tvaru matematického modelu. Přitom jakákoli chyba v této části řešení úlohy může zcela znehodnotit další postup. Je tedy důležitá praktická zkušenost řešitele při vytváření modelu, znalost obdobných modelů, řešících stejnou nebo příbuznou problematiku. Jak již bylo naznačeno, rozsáhlé diskretní modely jsou ve srovnání s modely lineárního programování obtížně řešitelné. Specifickou oblast diskretních modelů tvoří modely teorie grafů, u kterých je matematickým modelem graf. (9)

Obecným tvarem úlohy lineárního programování je úloha maximalizace (respektive minimalizace) lineární funkce s podmínkou, že nezávislé proměnné této funkce musí splňovat soustavu omezení ve tvaru soustavy lineárních rovnic respektive lineárních nerovností a některé z nich musí splňovat i podmínku celočíselnosti. Diskretní optimalizace spočívá v hledání prvku z diskretní množiny, pro který funkce, která je na této množině definovaná, nabývá maxima (respektive minima). Smíšenou úlohou lineárního celočíselného programování nazýváme úlohu, v níž existují jak celočíselné proměnné, tak proměnné, které nejsou vázány podmínkou celočíselnosti. (9)

Úlohu smíšeného lineárního celočíselného programování zapisujeme ve tvaru

$$\max\{cx + dy : Ax + Dy \leq b, x \in Z_+^n, y \in R_+^p\},$$

kde Z_+ je množina celých nezáporných čísel, R_+ je množina nezáporných reálných čísel. Lineární funkce $cx+dy$, kterou maximalizujeme, nazýváme účelovou funkcí, koeficienty obsažené ve vektorech c a d označujeme jako ceny odpovídajících proměnných, soustavu

nerovnosti $Ax + Dy \leq b$ nazýváme omezujícími podmínkami úlohy. Úloha je zadaná parametry: (9)

- c je n -člený vektor cen celočíselných proměnných,
- d je p -člený vektor cen neceločíselných proměnných,
- A je matice $m \times n$ koeficientů m omezení a n celočíselných proměnných,
- D je matice $m \times p$ koeficientů m omezení a p neceločíselných proměnných a
- B je m -člený vektor pravých stran.

Všechny parametry jsou racionální, což není pro praxi omezující. Při práci na počítači ani není možno s iracionálními čísly počítat. Množinu

$$S = \{x \in Z_+^n, y \in R_+^p; Ax + Dy \leq b\}$$

označme jako množinu přípustných řešení, obsahuje body (x, y) , které splňují soustavu omezení a složky vektoru x jsou nezáporné a celočíselné, složky y pouze nezáporné. Úlohu minimalizační lze převést na úlohu maximalizační, násobíme-li účelovou funkci číslem mínus jedna. Úlohu smíšeného lineárního celočíselného programování lze převést na smíšenou bivalentní úlohu, pokud množina přípustných řešení je omezená. Každou celočíselnou proměnnou lze totiž nahradit binárním vyjádřením hodnoty této proměnné, které nejsou nic jiného než bivalentní proměnné. (9)

3.5 DISTRIBUČNÍ ÚLOHY

Velmi významnou skupinou úloh lineárního programování jsou tzv. distribuční problémy. (6) Distribuční úlohy se zabývají speciálními rozmisťovacími logistickými problémy. Pomáhají řešit základní otázky premisťování či přiřazování lidí, materiálu a informací, které lze vyjádřit slovy odkud, kam, čím a kudy. (10) Tyto úlohy jsou sice úlohami lineárního programování, mají však poněkud speciální charakter, což se projevuje ve formulaci jejich matematického modelu i při jejich řešení. Dále uvedeme několik základních typů distribučních úloh: (6)

1. Dopravní problém: V dopravním problému se v typickém případě jedná o rozvržení rozvozu zboží či materiál z dodavatelských míst k odběratelům tak, aby byly minimalizovány celkové náklady související s tímto rozvozem.
2. Kontejnerový dopravní problém představuje modifikaci dopravního problému, že přeprava se realizuje pouze pomocí kontejnerů, které mají určitou kapacitu a náklady jsou uvedeny na jeden kontejner.

3. Obecný distribuční problém se liší v tom, že kapacity zdrojů a požadavků nejsou uvedeny ve stejných jednotkách.
4. Přiřazovací problém lze charakterizovat jako úlohu, ve které se jedná o nalezení vzájemně jednoznačného přiřazení dvojice jednotek ze dvou skupin tak, aby toto přiřazení přineslo co nejvyšší efekt.
5. Okružní dopravní problém, který se někdy nazývá i jako úloha obchodního cestujícího. Cílem je vyjít z nějakého výchozího stanoviště a navštívit postupně zbylá místa právě jednou a vrátit se zpět do výchozího místa, tak aby délka trasy byla co nejkratší.
6. V úloze o pokrytí jde o rozhodnutí umístění obslužných stanic, jako je požární stanice a stanice rychlé pomoci a přiřadit jim sféru působnosti

3.6 OKRUŽNÍ ÚLOHY

Okružní úlohy řeší problémy týkající se rozvozu a svozů materiálu, zboží, odpadků apod. Matematický model těchto úloh je graf $G = \{V, E\}$, ve kterém uzly představují místa, kam se zboží rozváží a hrany, které představují komunikační síť. Nejznámější úlohou tohoto typu je úloha obchodního cestujícího. V této úloze se hledá uzavřená cesta (cyklus), která obsahuje všechny uzly grafu. V grafu G jsou všechny hrany ohodnoceny číslem c_{ij} , v praxi představují náklady spojené s přejezdem z uzlu i do uzlu j . Celkové ocenění uzavřené cesty v grafu G je součet ocenění hran ležících na této cestě. Úkolem je hledání takové uzavřené cesty v grafu, obsahující všechny uzly právě jednou, jejíž celkové ohodnocení je nejnižší. Hledaný cyklus se nazývá Hamiltonův cyklus a je složen z hran z množiny E . Zavedeme tedy bivalentní proměnné x_{ij} tak, že $x_{ij} = 1$, jestliže hrana (i, j) leží na hledaném cyklu, v opačném případě je $x_{ij} = 0$. Mějme $V = \{1, 2, \dots, n\}$, pak podmínku, že uzel i leží na tomto cyklu lze formulovat tak, že právě jedna hrana z cyklu končí v uzlu i a právě jedna hrana z cyklu z uzlu i vychází. Tyto dvě podmínky lze zapsat ve tvaru $\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1$ a $\sum_{j=1}^n x_{ji} = 1$. Ocenění tohoto cyklu je součet hran, pro které je $x_{ij} = 1$. Toto ocenění lze zapsat ve tvaru $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$. Tuto funkci budeme minimalizovat. K výše uvedenému omezení je třeba připojit další omezení, která vyloučí parciální cykly. $\sum_{i \in U} \sum_{j \in V-U} x_{ij} \geq 1$, pro všechny $U \subset V$, $2 \leq |U| < n - 2$. (9)

Matematický model okružní úlohy lze formulovat takto: (9)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \text{ pro } i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \text{ pro } j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.3)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.5)$$

Kde n je počet míst, která vozidlo musí projet, včetně výchozího místa označeného indexem 1 a c_{ij} představuje vzdálenost mezi místy i a j . Proměnná x_{ij} je bivalentní proměnná nabývající hodnoty 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , resp. hodnoty 0 v opačném případě. Podmínky (3.2) a (3.3) zajišťují, že každé místo je navštíveno právě jednou. Soustava podmínek (3.4) s proměnnými u_i je opatřením proti vytváření parciálních cyklů. (11)

Do teď byly definovány okružní úlohy, u nichž není limitujícím faktorem kapacita vozidel. Jedná se o problémy, které mají základ v úloze obchodního cestujícího. Typické reálné aplikace lze najít u firem zajišťujících opravárenské služby. V takových úlohách vozidlo většinou nepřeváží žádné zboží, kromě náhradních dílů, potřebných při opravě, a tudíž kapacita vozidla je nevýznamná. (11)

Tuto formulaci lze snadno rozšířit na rozvozní úlohu. Tato úloha připouští řešení ve formě více cyklů s tím, že každý cyklus musí obsahovat uzel, který představuje výchozí místo rozvozů. Kromě podmínky, že okruhy musí obsahovat všechny uzly, je zde ještě kapacitní omezení na každý okruh. Je dáno kapacitou vozidla a požadavky odběratelů rozmístěných v uzlech sítě. Každý okruh by měl splňovat podmínku, že součet požadavků uzlů ležících na okruhu nepřekročí kapacitu vozidla. (9)

3.7 ROZVOZNÍ ÚLOHY (vehicle routing problem)

Existuje ovšem celá řada aplikací, ve kterých zákazník požaduje, aby mu bylo z nějakého centrálního distribučního místa dodáno určité množství zboží. Takové úlohy se nazývají rozvozní úlohy (VRP)². Do této třídy úloh patří i problémy, ve kterých naopak zákazník požaduje odvoz zboží, materiálu, odpadu apod. VRP je uváděna jako speciální podskupinou úloh třídy pick-up and delivery problems. Další rozdělení těchto aplikací na úlohy svozu a úlohy rozvozu je důležité především z hlediska samotné ekonomické definice úlohy, nikoli však z hlediska jejího řešení. (11)

Pro nalezení optimálního řešení rozvozních úloh lze použít metodu větvení a hranic³, metodu větvení a řezů⁴. Přibližné řešení poskytují heuristické či metaheuristické postupy, založené většinou na metodách tabu search, genetických algoritmech apod. (11)

Při rozvozu zboží⁵ musí mít vozidlo v okamžiku výjezdu na trasu dostatečnou zásobu pro uspokojení nově vzniklých požadavků. V opačném případě se bude vozidlo neustále vracet do svého výchozího místa, čímž samozřejmě neúměrně vzrostou přepravní náklady, nehledě na časovou ztrátu. Naopak při svozu zboží bude jistě výhodné neplnit vozidlo na trase zcela, ale ponechat určité místo pro zboží, které bude neplánovaně naloženo u nových zákazníků. Tato strategie hraje významnou roli především v případech, kdy je možné odhadnout výši nově vzniklých požadavků, tj. distribuční firma zná pravděpodobnostní rozdělení velikosti poptávky, resp. nabídky potenciálních zákazníků. Pro zjednodušení budeme ve všech modelech předpokládat, že cílem je svézt zboží od zákazníků do jednoho, případně několika stanovišť. (11)

Matematický model rozvozní úlohy: (9)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (3.6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n, \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \text{ pro } j = 2, 3, \dots, n, \quad (3.8)$$

² VRP= vehicle routing problem

³ Branch-and-Bound Algorithm

⁴ Branch-and-Cut Algorithm

⁵ Uvažujeme homogení zboží.

$$u_i + q_j - 2V(1 - x_{ij}) \leq u_j, i = 1, 2, \dots, n, j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (3.9)$$

$$q_j \leq u_i \leq V, i = 2, 3, \dots, n, \quad (3.10)$$

$$u_1 = 0, \quad (3.11)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.12)$$

Proměnná x_{ij} je bivalentní proměnná nabývající hodnoty 1 v případě, že vozidlo jede do místa j z místa i , hodnoty 0 v opačném případě. Účelová funkce (3.6) představuje celkovou vzdálenost ujetou vozidlem. Omezující podmínky (3.7) a (3.8) stanovují, že každé místo bude navštíveno právě jednou. Nerovnosti (3.9) jsou smyčkovými podmínkami zamezujícími vytváření parciálních cyklů, tj. cyklů neobsahujících výchozí místo. Zároveň představují bilanci nákladu vozidla. Podmínky (3.10) nepovolují překročení kapacity vozidla V po návštěvě libovolného zákazníka, navíc bilancují požadavek zákazníka a náklad vozidla. Jestliže požadavek některého ze zákazníků převyšuje kapacitu vozidla, je nutné úlohu řešit jako rozvozní problém s dělenou dodávkou, resp. nakládkou. Rovnice (3.11) definuje nulový náklad vozidla ve výchozím místě. (11)

3.7.1 Rozvozní úloha s jedním vozidlem

V této úloze existuje jediné výchozí místo označené č. 1, v němž je umístěno jediné vozidlo. Toto vozidlo o známé kapacitě V má zajistit svoz materiálu, zboží od $n-1$ zákazníků, u nichž je známá velikost požadavku $0 < q_i \leq V$. Je definována matice nejkratších vzdáleností mezi všemi zákazníky a nejkratších vzdáleností mezi výchozím místem a všemi zákazníky. Vzdálenost mezi místy i a j je označena c_{ij} . (11)

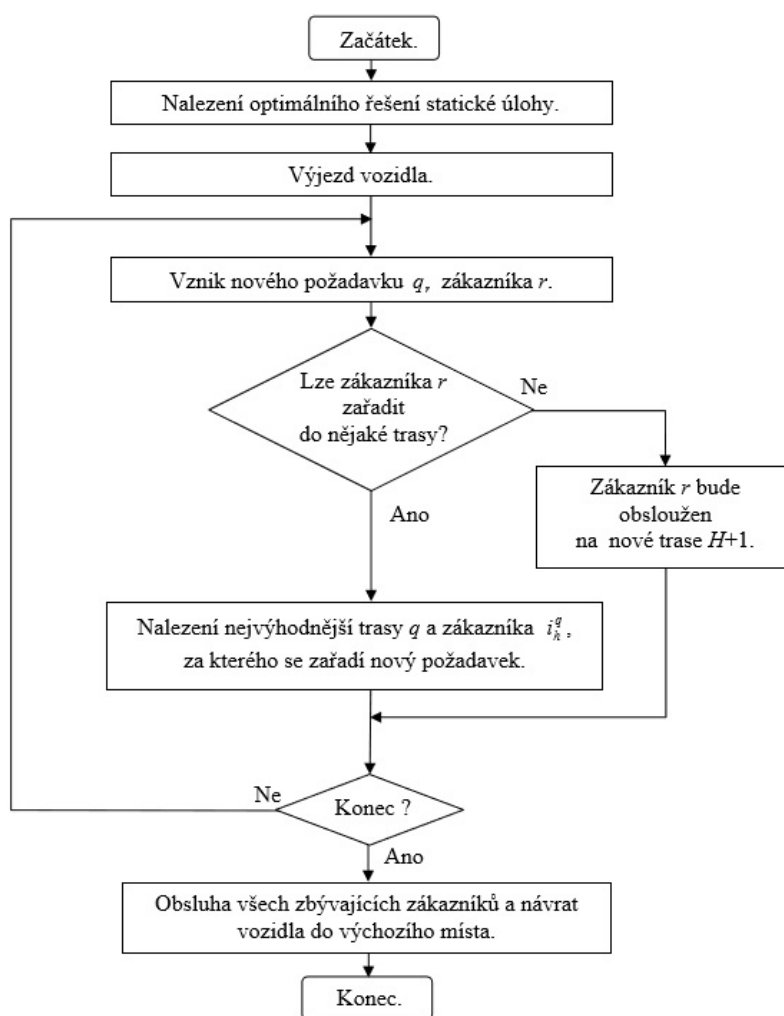
Matematický model pro statickou úlohu je popsán o kapitulu výše, v níž je cílem minimalizovat celkovou vzdálenost ujetou vozidlem, splnit požadavky zákazníků a nepřekročit kapacitu vozidla. (11)

Pro dynamické rozvozní úlohy platí, že během jízdy vozidla může vzniknout nový požadavek. Zařazení nového zákazníka lze provést na základě heuristických algoritmů nebo re-optimalizací zbývajících částí trasy, resp. tras. (11)

- **Vkládací algoritmus**

Hrubé schéma algoritmu je znázorněno na obrázku 3. V okamžiku vzniku nového požadavku se vozidlo nachází na jedné z tras, které musí ještě absolvovat podle optimálního rozvrhu, resp. již upraveného rozvrhu. Jejich počet označme H , číslem 1 označme

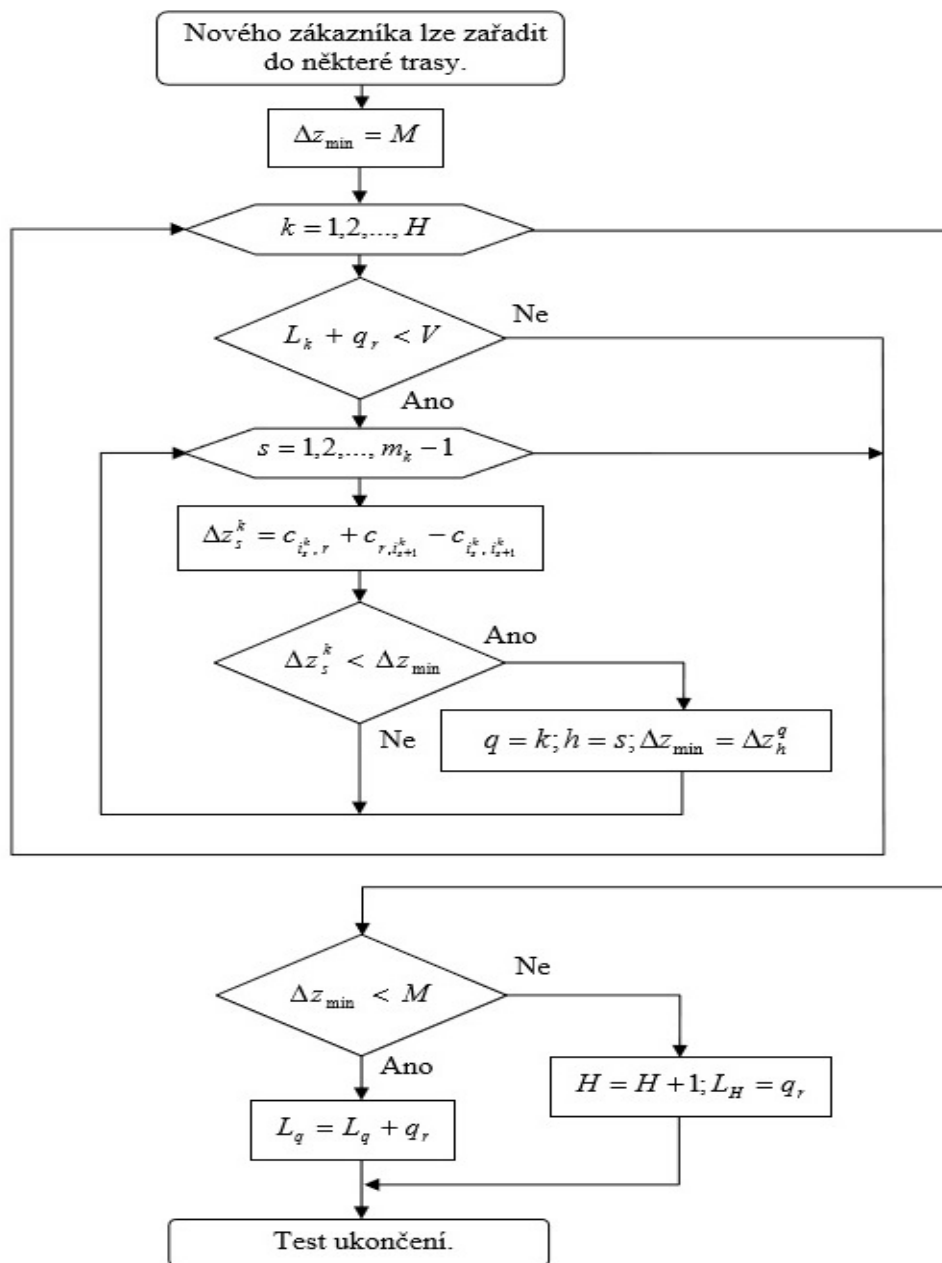
nedokončenou trasu, na které se vozidlo právě nachází. Posloupnost $U_k = \{i_1^k, i_2^k, \dots, i_{m_k}^k\}$ je tvořena místy, která má vozidlo navštívit na k -té trase ($k=1,2,\dots,H$). Zřejmě platí $i_{m_1}^1 = 1$ a $i_1^k = i_{m_k}^k = 1$ pro $k > 1$. Dále označme $L_k \leq V$ předpokládaný náklad, který bude mít na k -té trase vozidlo při návratu do výchozího místa. Po vzniku nového požadavku je nutné otestovat, zda je možné pro jeho splnění využít vozidla v rámci některé z navržených tras. Naložení nákladu r -tého zákazníka q_r nesmí mít v žádném případě za následek překročení kapacity vozidla V na trase. Cílem je nalézt nejvýhodnější trasu a zákazníka, za kterého bude vložen nový zákazník tak, aby prodloužení trasy bylo minimální. Pokud by kapacita vozidla byla překročena u všech tras, pak musí být nový zákazník obslužen na nové trase. (11)



Obrázek 3: Vkládací algoritmus pro dynamickou rozvozní úlohu (11 str. 86)

Výběr trasy, resp. místa na trase, za které bude vložen nový zákazník, je podrobně znázorněn na obr. 4. Parametr M v uvedeném schématu představuje vysokou konstantu. Celý

proces končí v okamžiku, do kterého je možné přijímat další požadavky zákazníků, aby nedošlo k překročení pracovní doby distribuční firmy. Vozidlo dokončí obsluhu všech zbývajících zákazníků a vrací se do výchozího místa. (11)



Obrázek 4: Výběr trasy s obslužením nového zákazníka (11 str. 87)

- **Re-optimalizace**

Při popisu re-optimalizačního algoritmu bude formulace matematického modelu vyžadovat znalosti následujících informací: (11)

- místo, do něhož vozidlo směřuje v okamžiku přijetí nového požadavku, jeho index označíme j_{next} ,
- množinu U_N obsahující dosud nenavštívená místa, včetně sídla nového zákazníka označeného r ; v množině je i výchozí místo č. 1 a místo, výše označené indexem j_{next} ,
- objem nákladu $L \leq V$, který bude mít vozidlo po návštěvě místa j_{next} .

Re-optimalizační model lze pak zapsat následujícím způsobem: (11)

$$\sum_{i \in U_N} \sum_{j \in U_N} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (3.13)$$

$$\sum_{j \in U_N} x_{ij} = 1 \text{ pro } i \in U_N - \{1\}, \quad (3.14)$$

$$\sum_{i \in U_N} x_{ij} = 1 \text{ pro } j \in U_N - \{1\}, \quad (3.15)$$

$$u_i + q_j - 2V(1 - x_{ij}) \leq u_j, i \in U_N - \{1\}, j \in U_N - \{1\}, \quad i \neq j, \quad (3.16)$$

$$q_j \leq u_i \leq V, i \in U_N - \{1\}, \quad (3.17)$$

$$u_1 = 0, \quad (3.18)$$

$$u_{j_{next}} = L, \quad (3.19)$$

$$x_{1j_{next}} = 1, \quad (3.20)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in U_N - \{1\}. \quad (3.21)$$

Při řešení úlohy předpokládáme, že původní vzdálenost $c_{1j_{next}}$ je změněna na hodnotu odpovídající dosud ujeté vzdálenosti.⁶

3.7.2 Rozvozní úloha s více vozidly v jednom výchozím místě

V předchozí kapitole byla popsána úloha s jedním vozidlem, které obsluhuje všechny předem známé i nové zákazníky. Vzhledem k tomu, že je omezena kapacita vozidla, bude vozidlo v takových úlohách s velkou pravděpodobností absolvovat několik tras. Někteří zákazníci mohou tak na obsluhu čekat příliš dlouho. Východiskem se stává možnost použít

⁶ Případně je tato hodnota nastavena na 0. V případě, že vozidlo směřuje do výchozího místa, podmínky (3.19) a (3.20) nebudou v matematickém modelu uvedeny.

ke svozu více vozidel. Je dobré si uvědomit dvě základní, i když zcela zřejmé, skutečnosti:
(11)

- pokud neuvažujeme kapacitu vozidla, bude optimální, aby obsluhu zákazníků zajistilo jediné vozidlo,
- pokud uvažujeme kapacitu vozidla a ke svozu bude použito více vozidel, pak z důvodu, že vozidla mohou vyjet z výchozího místa současně, budou výsledné trasy po zařazení nových zákazníků odlišné od tras, které bude postupně absolvovat jedno vozidlo.

V případě velkého množství zákazníků či velkých vzdáleností mezi nimi samozřejmě jediné vozidlo nedokáže požadovanou obsluhu zajistit vůbec. Dalším problémem hodným důkladné analýzy je určení optimálního počtu vozidel nasazených na určitou směnu. Nejprve uvedeme matematický model úlohy, ve které je k obsluze $n-1$ předem známých zákazníků připraveno ve výchozím místě K vozidel.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}^k \rightarrow \min \quad (3.22)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = 1 \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n, \quad (3.23)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n x_{ij}^k = 1 \text{ pro } j = 2, 3, \dots, n, \quad (3.24)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^k \leq 1, k = 1, 2, \dots, K, \quad (3.25)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k = \sum_{i=1}^n x_{ji}^k, j = 2, 3, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (3.26)$$

$$u_i + q_j - 2V(1 - x_{ij}^k) \leq u_j, i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j, \\ k = 1, 2, \dots, K, \quad (3.27)$$

$$u_1 = 0, \quad (3.28)$$

$$q_i \leq u_i \leq V, \quad i = 2, 3, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (3.29)$$

$$x_{ii}^k = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (3.30)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (3.31)$$

Formulace vychází z modelů již dříve uvedených, není tedy zapotřebí uvádět podrobný popis jeho částí. Je ovšem nutné upozornit na jednu podstatnou skutečnost. Nutnou, nikoli však postačující, podmínkou pro existenci přípustného řešení uvedeného matematického modelu je následující nerovnost: (11)

$$\sum_{i=2}^n q_i \leq K \cdot V, \quad (3.32)$$

tj. součet požadavků všech zákazníků nesmí překročit celkovou kapacitu všech vozidel.

3.8 METODA VĚTVÍ A MEZÍ

Konkrétně se jedná o metodu autorek Ailsa Land a Alison Doig v modifikaci navržené Dakinem. Ve světě známou pod názvem Branch and Bound. Tato metoda se může použít jak pro řešení ryze, tak i smíšeně celočíselných úloh lineárního programování. (6)

Prvním krokem uvedené metody je, že se na množině přípustných řešení X^0 standardním postupem (nejčastěji simplexovou metodou) vypočte optimální řešení úlohy bez uvažování podmínek celočíselnosti. Označme si vektor řešení \mathbf{x}^0 a hodnotu účelové funkce z^0 . Pokud takto vypočtené řešení vyhovuje podmínkám celočíselnosti, je to současně optimální řešení a výpočet končí. Tato situace však v reálných úlohách nastane zřejmě jen zcela výjimečně. (6)

V opačném případě se z množiny přípustných řešení neceločíselné úlohy X^0 vytvoří dvě podmnožiny $X^{0,1}$ a $X^{0,2}$. Tento proces se označuje jako větvení množiny X^0 na dvě disjunktní podmnožiny. Z vektoru řešení \mathbf{x}^0 se vybere libovolně jedna proměnná, která porušuje podmínku celočíselnosti (nechť je to proměnná x_k , jejíž hodnota je ve vektoru \mathbf{x}^0 rovna x_k^0). Množina $X^{0,1}$ je charakterizována rozšířením o podmínku $x_k \leq [x_k^0]$, množina $X^{0,2}$ je vytvořena z množiny X^0 rozšířením o podmínku $x_k \geq [x_k^0] + 1$, kde $[x_k^0]$ představuje celou část z hodnoty x_k^0 . V každé z obou větví je vypočteno optimální řešení bez uvažování podmínek celočíselnosti a proces větvení v případě potřeby pokračuje dále podobně, jako tomu bylo u množiny X^0 . (6)

Součástí uvedeného algoritmu je dále v každé větvi odvozována horní mez (za předpokladu maximalizace účelové funkce) pro hodnotu účelové funkce celočíselného řešení. Je evidentní, že celočíselná úloha nemůže mít hodnotu účelové funkce v optimálním řešení vyšší. Tuto hodnotu lze považovat za horní hranici účelové funkce celočíselného

řešení na množině X^0 . Obecně lze říci, že u celočíselných úloh horní mez na dané množině je rovna optimální hodnotě účelové funkce odpovídající úlohy bez podmínek celočíselnosti.

(6)

Pokud jsou však cenové koeficienty celá čísla, potom je zřejmé, že hodnota účelové funkce celočíselné úlohy bude také celé číslo. V takovém případě můžeme horní mez na množině X^k vzít hodnotu $[z^k - \varepsilon]$, kde ε je dostatečně malá konstanta a z^k je optimální hodnota účelové funkce neceločíselné úlohy na množině X^k . (6)

Celý, výše stručně popsany, proces pokračuje tak dlouho, dokud všechny vytvořené větve nejsou uzavřeny jedním ze tří následujících způsobů: (6)

1. Ve větvi je nalezeno řešení, které vyhovuje podmínkám celočíselnosti. V takovém případě je jasné, že není možné dále větvit, protože vektor optimálního řešení neobsahuje žádnou neceločíselnou složku.
2. Ve větvi neexistuje žádné přípustné řešení. Zde je snad také zřejmé, že prázdnou množinu není možné dále větvit.
3. Ve větvi je nalezeno neceločíselné řešení a horní mez hodnoty účelové funkce, odvozená z tohoto řešení, je nižší než hodnota účelové funkce celočíselného řešení, nalezeného již dříve v některé z ostatních větví.

Po uzavření všech větví je nalezené celočíselné řešení, pokud vůbec existuje, současně hledaným optimálním řešením celočíselné úlohy. (6)

4 FIRMA

Společnost XYZ s.r.o. je spediční firma, která byla založena v dubnu roku 1997. Hlavním předmětem jejího podnikání je mezinárodní a vnitrostátní silniční nákladní doprava. Poskytují však i osobní přepravu. Kamiónová doprava je stěžejní činností této společnosti. Je zaměřena především na přepravu FTL⁷ a PTL⁸ po celé České republice i po zemích Evropské unie. Dále nabízí také expresní přepravu zásilek. Je to služba, pro urychlení přepravy zásilek, která je určena pro kusové zboží. Firemní vozový park se skládá z dvaceti automobilů, z toho je osm osobních automobilů, čtyři cisterny, tři kontejnerové návěsy a pět dvoupodlažních plachtových návěsů. Vozový park je velmi moderní a splňuje ekologické a bezpečnostní normy pro Evropskou unii v mezinárodní přepravě.



Obrázek 5: Nákladní automobil firmy (zdroj: vlastní)

Proškolení profesionální řidiči s praxí, provádějí převozy a jsou zároveň monitorováni pomocí satelitních sledovacích systémů. Společnost získala certifikát

⁷ Full Transport Loads= celovozové zásilky

⁸ Part Transport Loads=sběrné kusové zásilky

ČSN EN ISO 9001:2009. Klientům jsou k dispozici dispečeri, jejichž úkolem je vybrat nejefektivnější trasu, ale také flexibilní a ochotní řidiči, jejichž úkolem je se podílet na dobrém jméně společnosti XYZ s.r.o. i na kvalitních službách pro klienty. Firma se řídí podmínkami mezinárodní přepravní úmluvy CMR⁹.

4.1 SOUČASNÁ SITUACE ZAKÁZKY A FUNGOVÁNÍ VE FIRMĚ

V současné době má firma několik stálých zákazníků, pro které rozváží a přepravuje zboží. Ty jsou jasně dané a neměnné. Nově však dostala zakázku, kde musí rozvážet nový druh zdravého nápoje, který zákazník uvedl nově na trh. Firma dostala od dodavatele místa, kam musí být nápoje přepraveny a požadavky odběratelů, o kolik nápojů mají zájem. XYZ zakázku přijala a nechala dispečera a řidiče si vypracovat vlastní plán rozvážky, což může vést ke spoustě zbytečně najetých kilometrů a vyšším nákladům. Postupem času výrobce nápojů získal nové a nové klienty a vyvoření rozvážkové trasy už nebylo jednoduché. Docházelo k velice neefektivnímu jednání a často nebyli odběratelé vůbec spokojeni s časem dodání.

Dalším úkolem od výrobce bylo zrealizovat dodávku zboží v době, kdy už vyrazil nákladní automobil na cestu a od odběratelů přišel nový požadavek. Nyní se firma potýká s velmi vysokými náklady z tohoto rozvozu, které jsou stejně vysoké jako příjmy. Vzhledem ke smlouvě firma nemůže zvažovat odstoupení od zakázky, protože by to vedlo k vysokým sankcím a v neposlední řadě ke ztrátě kvalitního jména firmy.

Cílem je tedy navrhnout co nejlepší rozvozní plán, to znamená, co nejkratší možnou trasu rozvozu a efektivně vyřešit problém s další objednávkou, když už je nákladní automobil na cestě. Dalším neméně důležitým cílem je uspokojit zákazníka v rozumně dlouhé dodací lhůtě. Jediným možným řešením, jak firmě pomoci je zavést optimalizaci tras pomocí softwaru. Při snížení počtu najetých kilometrů, firma ušetří za pohonné hmoty a za mýtné poplatky, které jsou stanoveny podle emisní třídy automobilu a podle počtu náprav. Ceny jsou k nahlédnutí v tabulce číslo 1.

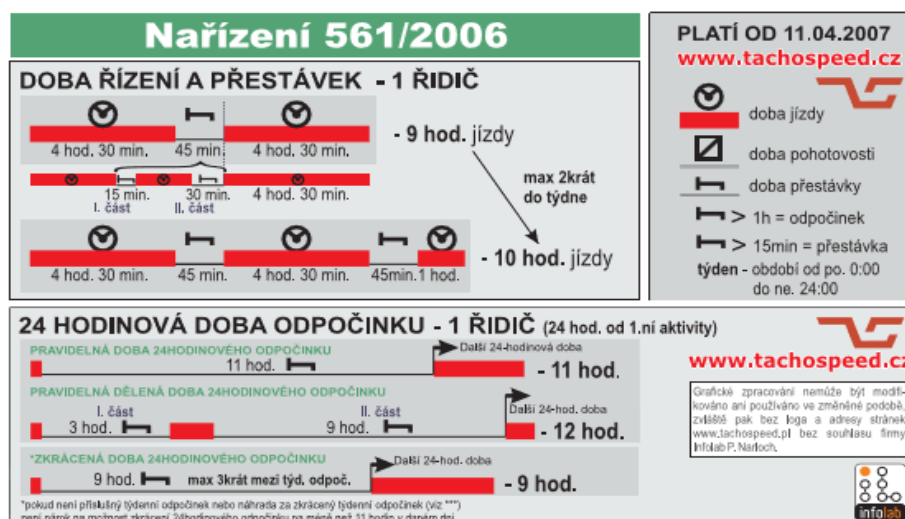
⁹ Convention Marchandise Routière

Sazby mýtného pro dálnice a rychlostní silnice od 1.1.2015											
Tabulka mýtných sazeb (Kč/km)											
Emisní třída Euro 0-II			Emisní třída Euro III a IV			Emisní třída Euro V			Emisní třída Euro VI		
Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav		
2	3	4≤	2	3	4≤	2	3	4≤	2	3	4≤
3,34	5,7	8,24	2,82	4,81	6,97	1,83	3,13	4,52	1,67	2,85	4,12
Nově sazby v pátek od 15:00 do 21:00 (Kč/km)											
Emisní třída Euro 0-II			Emisní třída Euro III a IV			Emisní třída Euro V			Emisní třída Euro VI		
Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav		
2	3	4≤	2	3	4≤	2	3	4≤	2	3	4≤
4,24	8,1	11,76	3,58	6,87	9,94	2,33	4,46	6,46	2,12	4,05	5,88

Tabulka 1: Sazby mýtného (16)

XYZ s.r.o. musí každý rok platit silniční daň, ať už auto jede nebo stojí v depu, dále musí vyplácet zaměstnance, servisovat automobily a v neposlední řadě platit povinné ručení a pojistky. To vše jsou nemalé položky, které firma musí zaplatit. Bohužel tyto částky jsou nutností pro provozování logistické společnosti a platí se za každých okolností, ať už firma vydělává a rozváží nebo nákladní automobily stojí v garážích. Možnost jak ušetřit na pohonych hmotách, je si zajistit svojí vlastní naftu a jezdit, co možná s nejlhčím naložením automobilu, protože se sníží spotřeba paliva.

Důležité je respektovat nařízení pro řidiče. Přesný popis doby řízení a délky přestávek pro jednoho řidiče se nechází na obrázku číslo 6. Podrobnější informace lze nalézt na stránkách www.tachospeed.cz.



Obrázek 6: Doba řízení a přestávek (17)

Firma může na tuto zakázku poskytnout pouze jeden, ze svých dvoupodlažních paletových návěsů, jehož délka je 13,6 metrů, výška 2,7 metrů a 2,5 metrů šířky. Do prostoru uvnitř se vejde až šedesát šest europalet o rozměrech 1200mm×800mm×144 mm (délka × šířka × výška). Kamión však nesmí překročit váhu dvacet čtyři tun. Nakládá se za pomoci vysokozdvizného nebo paletového vozíku.

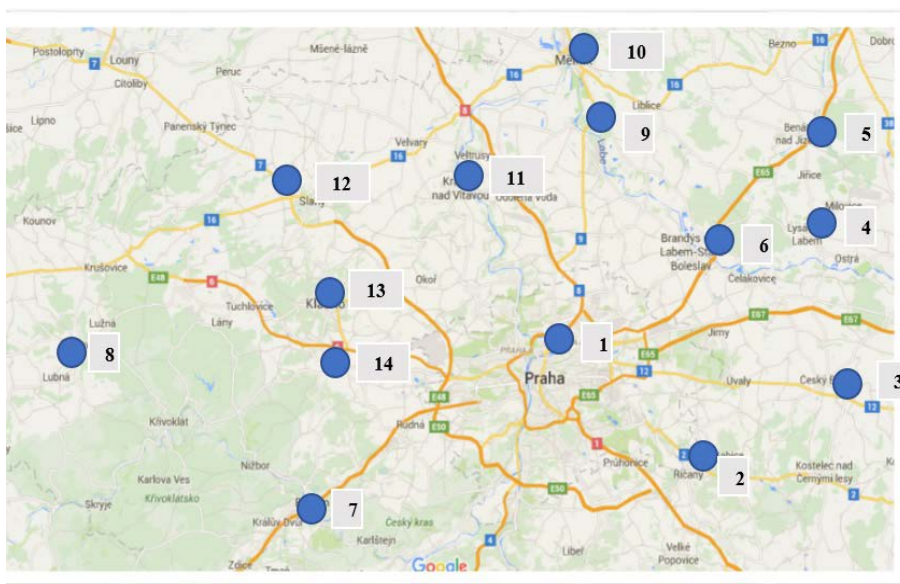
Rozvážka je rozdělena do dvou oblastí. První oblastí jsou střední Čechy. Konkrétní města jsou vypsána v tabulce číslo 2 společně s požadavky na počet balíků. V každém balíku je zabaleno šest láhví o objemu jeden litr. Ve středních Čechách se rozváží do třinácti měst. Je potřeba rozvést 1003 balíků. Každá trasa začíná a končí vždy ve skladu s nápoji v Praze a postačí jeden kamion.

MĚSTA- STŘEDNÍ ČECHY			
PRAHA-SKLAD ZBOŽÍ			
Rakovník	70	Lysá nad L.	90
Kladno	85	Český Brod	63
Unhošť	60	Říčany	75
Slaný	90	Beroun	61
Kralupy nad V.	127	Mělník	55
Neratovice	82	Benátky nad J.	45
Brandýs nad L.	100	Celkem	1003

Tabulka 2: Rozvážková města okolí Prahy s požadavky (zdroj: XYZ s.r.o, vlastní práce)

Na jednu dřevěnou transportní paletu se vejde třicet dva balíků, a jak už bylo řečeno, do dvoupodlažního paletového návěsu lze umístit šedesát šest palet. Buhužel se jedná o zboží, které by se mohlo zdeformovat. To znamená, že nelze palety skládat na sebe a kapacita tohoto nákladního automobilu, který firma používá na tuto zakázku je 1056 kusů balíků. I při plném naložení nákladního automobilu není překročena nejvyšší povolená hmotnost automobilu 24 tun.

Při prvních rozvozech bylo stanovení trasy velmi jednoduché. Jednalo se o tři a později o pět míst. Nyní však firma rozváží do 13 měst a je možné, že se do budoucna toto číslo bude zvedat. Na obrázku č. 7 je mapa s místy rozvozu pro střední Čechy. Vedení firmy nechalo řidiče si vytvořit vlastní plán trasy, který byl později odsouhlasen managementem. Je evidentní, že tato trasa nebude optimální a určitě bude existovat lepší řešení.



1. Praha
2. Říčany
3. Český Brod
4. Lysá nad Labem
5. Benátky nad J.
6. Brandýs nad L.
7. Beroun
8. Rakovník
9. Neratovice
10. Mělník
11. Kralupy nad V.
12. Slaný
13. Kladno
14. Unhošť

Obrázek 7: Pořadí měst pro střední Čechy s rozvážkou (zdroj: vlastní práce,18)

Pro oblast středních Čech jezdí řidič po této trase:

Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad Labem → Benátky nad Jizerou → Brandýs nad Labem → Beroun → Rakovník → Neratovice → Mělník → Kralupy nad Vltavou → Slaný → Kladno → Unhošť → **Praha**

Délka této trasy je **369 km**.

Druhou oblastí jsou severní Čechy. Rozvážka je pro dvacet měst se začátkem a koncem v Praze ve skladu. Seznam měst i s požadavky na počet balíků zdravého nápoje je uveden v tabulce číslo 3.

MĚSTA-S ČECHY			
PRAHA-SKLAD		CELKEM	998
Lovosice	40	Most	60
Litoměřice	55	Chomutov	58
Roudnice n/L	37	Litvínov	46
Štětí	42	Libochovice	35
Děčín	65	Bílina	33
Ústí n/L	79	Česká Kamenice	20
Teplice	57	Duchcov	36
Ústěk	24	Česká Lípa	77
Louny	48	Liberec	90
Žatec	55	Nový Bor	41

Tabulka 3: Rozvážková města severních Čech s požadavky (zdroj: XYZ s.r.o, vlastní práce)

V severních Čechách firma jezdí po trase:

Praha → Roudnice nad L. → Štětí → Česká Lípa → Nový Bor → Liberec → Česká Kamenice → Děčín → Ústí nad L. → Teplice → Duchcov → Litvínov → Most → Chomutov → Žatec → Louny → Bílina → Libochovice → Lovosice → Litoměřice → Ústěk → Praha

Délka této trasy je **571 km** a balíků se rozveze 998 kusů.

V případě prvního rozvozu najela firma 369 kilometrů a pro rozvoz v severních Čechách je to 571 kilometrů.

V průměru třikrát do roka se stane, že objednávka od prodejen se nevejde do jednoho kamionu. Tento nedávný případ vyřešila firma následovně:

1. ROZVÁŽKA STŘEDNÍ ČECHY: **Praha** → Říčany (92) → Český Brod (83) → Lysá nad Labem (105) → Benátky nad Jizerou (94) → Brandýs nad Labem (145) → Beroun (150) → **Praha**
2. ROZVÁŽKA STŘEDNÍ ČECHY: **Praha** → Rakovník (100) → Neratovice (112) → Mělník (95) → Kralupy nad Vltavou (125) → Slaný (110) → Kladno (150) → Unhošť (75) → **Praha**

V závorkách jsou uvedeny požadavky měst. První auto vezlo 669 balíků a ujelo 187 kilometrů a druhé auto naložilo 767 kusů balíků a ujelo 234 kilometrů.

Druhý region byl obsloužen následovně:

1. ROZVÁŽKA SEVERNÍ ČECHY: **Praha** → Roudnice nad L. (70) → Štětí (63) → Česká Lípa (87) → Nový Bor (50) → Liberec (115) → Česká Kamenice (40) → Děčín (118) → Ústí nad L. (134) → **Praha**
2. ROZVÁŽKA SEVERNÍ ČECHY: **Praha** → Teplice → Duchcov → Litvínov → Most → Chomutov → Žatec → Louny → Bílina → Libochovice → Lovosice → Litoměřice → Ústěk → **Praha**

První auto, které jelo do severních Čech, vezlo 677 balíků a ujelo 342 kilometrů a druhé auto naložilo a rozvezlo 665 kusů balíků a ujelo 363 kilometrů. Pro tento mimořádný případ je firma ochotna použít dva automobily, aby se realizovala zakázka rychleji.

4.2 OPTIMALIZACE SOUČASNÉ SITUACE

Jediným možným řešením, jak firmě pomoci je zavést optimalizaci tras. Snížení počtu najetých kilometrů uspoří pohonné hmoty, sníží se amortizace automobilu, sníží se opotřebení pneumatik a je možné ušetřit i na poplatcích za mýto. Firma bohužel nevlastní žádný sofistikovaný software ani žádný systém na podporu rozhodování (DSS= Decision Support Systems), který by stanovil trasy rozvozu a zároveň by sloužil na podporu rozhodování v oblasti marketingu a managementu firmy. DSS by poskytoval minimální přepravní náklady, přehledné mapy, linie vzdáleností. V dnešní době je na trhu spousta programů, aplikací, služeb a systémů, které nabízejí například:

- Snížení počtu ujetých kilometrů
- Snížení počtu vozidel a lepší využití kapacity
- Grafické zobrazení komunikací s automobilem na trase
- Instrukce pro realizaci dodávek
- Snížení času potřebného pro přípravu tras
- Dokonalý přehled o nákladech na distribuci
- Zkvalitnění zákaznického servisu, inzerce
- Podklady pro fakturační a reklamační účely
- Kompletní a průběžný přehled o dopravních nákladech

Tyto softwary si lze pořídit v řádu desítek tisíc korun a následné poplatky na aktualizace jsou velmi zanedbatelné. Dnes už je prakticky nemožné se obejít bez moderních technologií.

4.2.1 Jedna trasa

Pro případ kdy se celá objednávka rozvozu realizuje pomocí jednoho nákladního automobilu lze použít doplněk pro MS Office Excel vyvinutý na ČZU, který se jmenuje TSP KOSA a slouží pro okružní dopravní úlohy. Po otevření doplňku se vloží matice vzdáleností, v našem případě tabulka číslo 4 a názvy uzlů, tedy jména odběrných měst. Nejdříve se zaměřím na rozvoz kolem Prahy ve středních Čechách. Dalším krokem je zvolit si metodu výpočtu.

MĚSTA	Praha	Rakovník	Kladno	Unhošť	Slaný	Kralupy nad V.	Neratovice	Brandýs nad L.	Lysá nad L.	Český Brod	Říčany	Beroun	Mělník	Benátky nad J.
Praha	x	59	30	24	36	27	25	23	37	32	22	33	36	42
Rakovník	59	x	32	35	34	51	71	79	94	91	80	40	67	95
Kladno	30	32	x	8	15	23	53	56	70	74	57	40	43	72
Unhošť	24	35	8	x	30	28	51	52	68	78	52	24	50	68
Slaný	36	34	15	30	x	22	44	57	78	82	64	46	35	62
Kralupy nad V.	27	51	23	28	22	x	24	36	57	62	52	45	23	50
Neratovice	25	71	53	51	44	24	x	13	29	36	40	60	12	32
Brandýs nad L.	23	79	56	52	57	36	13	x	16	24	27	62	25	18
Lysá nad L.	37	94	70	68	78	57	29	16	x	18	39	79	35	11
Český Brod	32	91	74	78	82	62	36	24	18	x	23	78	52	27
Říčany	22	80	57	52	64	52	40	27	39	23	x	55	63	45
Beroun	33	40	40	24	46	45	60	62	79	78	55	x	78	80
Mělník	36	67	43	50	35	23	12	25	35	52	63	78	x	27
Benátky nad J.	42	95	72	68	62	50	32	18	11	27	45	80	27	x

Tabulka 4: Vzdálenosti měst ve středních Čechách (zdroj: vlastní, 18)

Jsou zde k dispozici následující aproximační metody. Metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel. Na výběr je také metoda větví a mezí. Metoda větví a mezí poskytuje optimální řešení, zatímco heuristické metody dávají řešení, jehož optimalitu nelze dokázat. Po zadání všech potřebných dat se spustí výpočet a výsledek pro střední Čechy se zobrazí na novém listě obrázek č.8.

	A	B	C	D	E	F	G
1	stred						
2	Metoda větví a mezí (Počet větví: 364)						
3	Doba výpočtu: 00:00:00						
4	Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0						
5	Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2						
6	Z_min =	293					
7							

Obrázek 8: Řešení pro střední Čechy (zdroj: vlastní práce)

Z obrázku je vidět, že čas výpočtu je velmi krátký a počet větví je 364, ale nejdůležitější částí je řádek Z_min. Zde se nachází hodnota účelové funkce. Trasa, po které by měl nákladní automobil jet, aby ujel nejméně kilometrů je následující:

1. Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

Trasa je dlouhá 293 kilometrů a kamion má naloženo 1003 kusů balíků nápoje. Další možná trasa se stejným počtem kilometrů a stejným naložením je:

2. Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Rakovník → Kladno → Unhošť → Beroun → **Praha**

V tomto případě existuje alternativní řešení. Ať si řidič zvolí jakoukoli trasu, tak najede stejný počet kilometrů. Jediné jak by bylo možné ještě vybrat, která trasa by mohla být úspornější vzhledem ke spotřebě paliva vozů, je porovnání počtu naložených balíků.

Více zatížené auto má větší spotřebu pohonných hmot. V tabulce č. 5 je sloupec s požadavky a sloupec s úbytkem zboží podle splněných požadavků. I když se jedná jen o pár kilogramů, firma by měla volit alternativu číslo jedna, pokud jí bude záležet i na takových detailech. Do města Slaný je naložení stejné, ale poté do Kladna je to 15 km a tam ubyde 85 kusů zboží a po osmy kilometrech ubyde dalších 60 kusů. V případě druhé alternativy jede ze Slaného 34 km do Rakovníka, tam vyloží 70 kusů a jede dalších 32 km, kde teprve vyloží 85 kusů. Alternativa číslo jedna nabízí kratší cestu s vyšším naložením a na poslední dvě zastávky jede skoro prázdný. Kdežto druhá alternativa veze delší dobu větší zátěž. Pro velkou firmu je to asi zanedbatelná položka, ale je to možnost, jak hledat další prostor pro ušetření nákladů.

Města 1. alternativa		Počet balíků v autě
PRAHA	0	1003
Říčany	75	928
Český Brod	63	865
Lysá nad L.	90	775
Benátky nad J.	45	730
Brandýs nad L.	100	630
Neratovice	82	548
Mělník	55	493
Kralupy nad V.	127	366
Slaný	90	276
Kladno	85	191
Unhošť	60	131
Rakovník	70	61
Beroun	61	0
PRAHA	0	0

Města 2. alternativa		Počet balíků v autě
PRAHA	0	1003
Říčany	75	928
Český Brod	63	865
Lysá nad L.	90	775
Benátky nad J.	45	730
Brandýs nad L.	100	630
Neratovice	82	548
Mělník	55	493
Kralupy nad V.	127	366
Slaný	90	276
Rakovník	70	206
Kladno	85	121
Unhošť	60	61
Beroun	61	0
PRAHA	0	0

Tabulka 5: Porovnání první a druhé trasy(zdroj: vlastní práce)

Pro severní Čechy je matrici vzdáleností v tabulce č. 6. Po vložení dat do TSP KOSA byl proveden výpočet opět metodou větví a mezí. Tentokrát byla doba výpočtu necelých dvacet sekund. Výpočet byl delší, protože bylo více dat a tudíž bylo i mnohem více větví, které musely být prohledány.

MĚSTA	PRAHA	LOVOSICE	LITOMĚŘICE	ROUDNICE N/L	ŠTĚTÍ	DĚČÍN	ÚSTÍ N/L	TEPLICE	ÚŠTĚK	LOUNY	ŽATEC	MOST	CHOMUTOV	LITVÍNŮV	LIBOCHOVICE	BÍLINA	ČESKÁ KAMENICE	DUCHCOV	ČESKÁ LÍPA	LIBEREC	NOVÝ BOR
PRAHA	X	70	72	53	64	115	90	93	76	84	109	110	123	113	67	101	112	101	92	93	99
LOVOSICE	70	X	8	25	37	46	22	27	25	34	57	44	57	48	16	36	61	36	51	98	55
LITOMĚŘICE	72	8	X	29	23	56	30	37	17	42	66	50	65	55	20	45	46	45	43	96	50
ROUDNICE N/L	53	25	29	X	12	72	47	49	24	39	60	61	71	58	17	44	53	52	47	94	55
ŠTĚTÍ	64	37	23	12	X	48	41	54	21	49	70	71	82	69	28	54	48	63	40	82	47
DĚČÍN	115	46	56	72	48	X	25	36	31	71	84	62	78	53	55	48	16	43	31	70	29
ÚSTÍ N/L	90	22	30	47	41	25	X	19	27	48	64	45	62	37	36	30	39	27	46	90	49
TEPLICE	93	27	37	49	54	36	19	X	46	36	48	27	43	18	36	12	52	8	64	105	65
ÚŠTĚK	76	25	17	24	21	31	27	46	X	56	72	68	79	64	37	50	29	53	22	69	30
LOUNY	84	34	42	39	49	71	48	36	56	X	21	33	33	35	22	24	83	33	78	125	86
ŽATEC	109	57	66	60	70	84	64	48	72	21	X	33	20	36	43	36	99	45	94	141	102
MOST	110	44	50	61	71	62	45	27	68	33	33	X	23	13	36	15	79	24	84	131	91
CHOMUTOV	123	57	65	71	82	78	62	43	79	33	20	23	X	26	54	34	95	37	102	148	107
LITVÍNŮV	113	48	55	58	69	53	37	18	64	35	36	13	26	X	44	17	69	12	82	123	82
LIBOCHOVICE	67	16	20	17	28	55	36	36	37	22	43	36	54	44	X	30	64	37	59	106	67
BÍLINA	101	36	45	44	54	48	30	12	50	24	36	15	34	17	30	X	64	9	71	118	77
ČESKÁ KAMENICE	112	61	46	53	48	16	39	52	29	83	99	79	95	69	64	64	X	60	19	54	13
DUCHCOV	101	36	45	52	63	43	27	8	53	33	45	24	37	12	37	9	60	X	72	113	72
ČESKÁ LÍPA	92	51	43	47	40	31	46	64	22	78	94	84	102	82	59	71	19	72	X	49	9
LIBEREC	93	98	96	94	82	70	90	105	69	125	141	131	148	123	106	118	54	113	49	X	43
NOVÝ BOR	99	55	50	55	47	29	49	65	30	86	102	91	107	82	67	77	13	72	9	43	X

Tabulka 6: Vzdálenosti pro severní Čechy (zdroj: vlastní, 18)

Výsledná trasa má délku 483 km a města budou projeta v následujícím pořadí:
Praha → Liberec → Nový Bor → Česká Lípa → Česká Kamenice → Děčín → Ústí nad L.
 → Teplice → Bílina → Duchcov → Litvínov → Most → Chomutov → Žatec → Louny →
 Libochovice → Lovosice → Litoměřice → Ústěk → Štětí → Roudnice nad L. → **Praha**

Existuje také alternativní řešení. Řidič si může vybrat, jestli do Nového Boru pojedě z Liberce nebo ho navštíví, až pojedě z České Lípy do České Kamenice. Je to jedno, protože Nový Bor se nachází jak na cestě Liberec → Česká Lípa, tak Česká Lípa → Česká Kamenice. Jde jen o čas, zda bude navštíven dříve, nebo až na cestě do České Kamenice.

Pomocí jednoduchého softwarového nástroje jsem došla ke snížení počtu najetých kilometrů a tím i snížení nákladů. V prvním případě společnost jezdí trasu dlouhou 369 km, když zvolí mou trasu, najede o 76 km méně a to přesně 293 km. V druhém případě jezdila firma rozvážku dlouhou 571 km, po optimalizaci to je 483 km. Došlo tedy ke zkrácení o 88 km.

4.2.2 Dvě a více rozvozních tras

Když firma dostane takové požadavky od zákazníků, viz tabulka číslo 7, které se nevejdou do jednoho nákladního automobilu s kapacitou 1056 ks.

MĚSTA- STŘEDNÍ ČECHY			
PRAHA-SKLAD ZBOŽÍ			
Rakovník	100	Lysá nad L.	105
Kladno	150	Český Brod	83
Unhošť	75	Říčany	92
Slaný	110	Beroun	150
Kralupy nad V.	125	Mělník	95
Neratovice	112	Benátky nad J.	94
Brandýs nad L.	145	Celkem	1436

Tabulka 7: Požadavky s překročením kapacity jednoho vozidla (zdroj: vlastní)

Je velice neefektivní, aby to firma řešila, tak že rozdělí rozvážku na dvě části, jen odhadem. Situace vyžaduje lepší a důmyslnější plánování dopravy.

K řešení tohoto problému byl použit software LINGO od společnosti Lindo Systems Inc. Tento software je vyvinut pro řešení lineární i nelineární a celočíselné programování.

Je potřeba zadat matematický model pro rozvozní úlohy z kapitoly 3.7 do modelovacího jazyka softwaru. Dále nadefinovat množiny, proměnné a vložit data, poté účelovou funkci a podmínky. Na závěr je potřeba zadat typ proměnných. Zápis bude vypadat následovně:

MODEL:

SETS:

mesta:alfa,q;
trasa(mesta,mesta):km,x;

ENDSETS

DATA:

v=1056;
mesta,q,km=@OLE("DP_stred.xlsx");
@ole("DP_stred.xlsx ")=x;
ENDDATA

N=@SIZE(mesta);
MIN=@SUM(trasa:km*x);
@FOR(mesta(i):x(i,i)=0);
@FOR(mesta(i)|I#NE#1:@SUM(mesta(j):x(i,j))=1);
@FOR(mesta(j)|J#NE#1:@SUM(mesta(i):x(i,j))=1);
alfa(1)=0;
@FOR(mesta(i):@FOR(mesta(j)|J#NE#1 #AND# J#NE#I:alfa(i)-alfa(j)+q(j)-v*(1-x(i,j))<=0));
@FOR(mesta(i)|I#NE#1:q(i) - alfa(i)<=0);
@FOR(mesta(i)|I#NE#1:alfa(i) - v <= 0);
@FOR(trasa:@BIN(x));

END

V řádku SETS je nadefinovaná množinu města, která mají prvky požadavků a naplněnost vozidla. Dalším nastavením je matice vzdáleností. Ve specifikaci vstupních dat je kapacita vozidla a to 1056 kusů. Jména měst, požadavky a vzdálenost budou nahrány z Excelu za pomoci funkce OLE a výstupy budou vloženy zpět do Excelu na předem definované místo. Teď přichází na řadu samotný model. Písmeno n je počet prvků dané množiny. Účelová funkce je počet najetých kilometrů, které mají být minimalizovány. Model musí splňovat podmínky, že každý uzel musí být navštíven právě jednou, nesmí být překročena kapacita vozidla na okruhu a smyčkové podmínky zajistí, aby nevznikly dva a více cyklů. Je třeba zadat, že proměnná x bude nabývat pouze hodnoty 0 a 1.

Po spuštění výpočtu vyšly dvě trasy. Na první trase automobil rozveze 519 balíků a navštíví města v tomto pořadí:

1.Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. →
Praha

Celkem ujede na první trase 115 km. Řešení je v tabulce č. 8. Splnění požadavků je v tabulce číslo 9.

MĚSTA	Praha	Brandýs nad L.	Lysá nad L.	Český Brod	Říčany	Benátky nad J.
Praha	0	0	0	0	1	0
Brandýs nad L.	1	0	0	0	0	0
Lysá nad L.	0	0	0	0	0	1
Český Brod	0	0	1	0	0	0
Říčany	0	0	0	1	0	0
Benátky nad J.	0	1	0	0	0	0

Tabulka 8: 1. Trasa pro rozvoz ve středních Čechách (zdroj: vlastní)

MĚSTA	ROZVOZ
Praha	519
Říčany	427
Český Brod	344
Lysá nad L.	239
Benátky nad J.	145
Brandýs nad L.	0

Tabulka 9: Postupné splnění požadavků (zdroj: vlastní)

Na druhé trase rozveze vozidlo 917 balíků a projede města takto:

2.Praha → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

Délka druhé trasy je 213 km. Splnění požadavků je uvedeno v tabulce č. 10. Řidič celkem najede 328 km, rozdělených do dvou tras. Rozveze 1436 balíků a uspokojí všechny zákazníky.

MĚSTA	ROZVOZ
Praha	917
Neratovice	805
Mělník	710
Kralupy nad V.	585
Slaný	475
Kladno	325
Unhošť	250
Rakovník	150
Beroun	0

Tabulka 10: Naložení vozidla na trase č.2 (zdroj: vlastní)

Ve středních Čechách by měla rozvážka vypadat takto, nejprve nákladní automobil naloží 519 balíků v Praze na skladě a jede po první trase. Z Brandýsa nad Labem se vrací zpět do Prahy, kde naloží 917 dalších balíků a jede po trase číslo 2. Z Berouna se vrátí vozidlo opět do Prahy a celkem ujede 328 km a rozveze 1436 balíků.

Ten samý zdrojový kód lze použít i pro severní Čechy, akorát data budou nahrána z jiného Excelovského sešitu. Kapacita vozidla je stále stejná a požadavky jsou uvedeny v tabulce číslo 11.

MĚSTA-S ČECHY			
PRAHA-SKLAD		CELKEM	1342
LOVOSIC	56	MOST	71
LITOMĚŘICE	70	CHOMUTOV	65
ROUDNICE N/L	70	LITVÍNOV	52
ŠTĚTÍ	63	LIBOCHOVICE	36
DĚČÍN	118	BÍLINA	55
ÚSTÍ N/L	134	ČESKÁ KAMENICE	40
TEPLICE	89	DUCHCOV	38
ÚŠTĚK	31	ČESKÁ LÍPA	87
LOUNY	45	LIBEREC	115
ŽATEC	57	NOVÝ BOR	50

Tabulka 11: Zvýšené požadavky zákazníků v severních Čechách (zdroj: vlastní)

Po drobných úpravách v datech ve zdrojovém kódu, byl opět spuštěn solver v LINGU. Rozvážka by se tentokrát měla realizovat opět ve dvou trasách. První rozvážka zboží by se měla realizovat přes tato města:

1. Praha → Liberec → Nový Bor → Česká Lípa → Česká Kamenice → Děčín → Ústí nad L. → Teplice → Bílina → Duchcov → Litvínov → Most → Chomutov → Žatec → Louny → Libochovice → **Praha**

Postupné splnění požadavků je v tabulce číslo 12. Vozidlo by mělo vyjet na trasu s počtem 1052 kusů zboží. Z Loun do Libochovic už kamión jede s 36 kusy a po vyložení posledního zboží se vrací prázdný do Prahy, aby mohl naložit další zboží a pokračovat v rozvážce.

Na druhé trase by mělo vozidlo s 290 balíky navštívit města v následujícím pořadí:

2. Praha → Lovosice → Litoměřice → Ústěk → Štětí → Roudnice nad L. → **Praha**

MĚSTA	1. ROZVOZ	MĚSTA	2. ROZVOZ
PRAHA	1052	PRAHA	290
LIBEREC	937	LOVOSICE	234
NOVÝ BOR	887	LITOMĚŘICE	164
ČESKÁ LÍPA	800	ÚŠTĚK	133
ČESKÁ KAMENICE	760	ŠTĚTÍ	70
DĚČÍN	642	ROUDNICE N/L	0
ÚSTÍ N/L	508		
TEPLICE	419		
BÍLINA	364		
DUCHCOV	326		
LITVÍNOV	274		
MOST	203		
CHOMUTOV	138		
ŽATEC	81		
LOUNY	36		
LIBOCHOVICE	0		

Tabulka 12: Stav zboží v kamionu na 1. a 2. trase po S Čechách (zdroj: vlastní)

Téměř plně naložený nákladní automobil na prvním okruhu by ujel 423 km a rozvezl by 1052 kusů zboží. Na druhém okruhu by ujel 197 km a rozvezl by 290 ks zboží. Celkem pro severní Čechy by délka rozvozu byla dohromady 620 km a rozvezlo by se 1342 ks balíků nápoje.

Pro případy, kdy by firma měla rozvést zboží, které se nevejde do jednoho nákladního automobilu, by měla volit výše popsanou rozvážku. V případě středních Čech firma najela celkem 421 km na dvou trasách. Po optimalizaci v softwaru by se zboží dalo rozvést ve dvou trasách dlouhých celkem 328 km. Úspora je 93 najetých kilometrů. V rozvozu pro severní Čechy firma najezdila celkem 705 km. Mnou vypočítaná trasa by byla dlouhá 620 km. Opět dochází ke snížení počtu najetých kilometrů, a to o osmdesát pět.

V tabulce číslo 13 jsou zhodnoceny náklady. Kdyby firma optimalizovala svoje trasy, tak by mohla ročně ušetřit až 83 tisíc Kč za rok. Za tuto částku by se dal pořídit software, který by firmě pomohl s dalším plánováním a optimalizací v logistice.

	Situace	Oblast	Spotřeba (l/100 km)	Délka trasy	Cena PHM (v Kč)	Náklady na jednu rozdávku	Roční intenzita rozdávky	Roční náklady
Jedna trasa	Původní rozvoz	Střední Čechy	35	369	30	3 874,50 Kč	46	178 227,00 Kč
		Severní Čechy	35	571	30	5 995,50 Kč	43	257 806,50 Kč
	Nový rozvoz	Střední Čechy	35	293	30	3 076,50 Kč	46	141 519,00 Kč
		Severní Čechy	35	483	30	5 071,50 Kč	43	218 074,50 Kč
	ÚSPORA						1 722,00 Kč	
Více tras	Původní rozvoz	Střední Čechy	35	421	30	4 420,50 Kč	4	17 682,00 Kč
		Severní Čechy	35	705	30	7 402,50 Kč	3	22 207,50 Kč
	Nový rozvoz	Střední Čechy	35	328	30	3 444,00 Kč	4	13 776,00 Kč
		Severní Čechy	35	620	30	6 510,00 Kč	3	19 530,00 Kč
	ÚSPORA						1 869,00 Kč	
CELKEM						3 591,00 Kč		83 023,50 Kč

Tabulka 13: Porovnání nákladů (zdroj: vlastní)

4.3 DYNAMICKÉ ŘEŠENÍ

Pro velký zájem o nápoj se stává, že kromě stálých odběratelů přicházejí i nárazové objednávky od nových klientů. Na tuto situaci firma není vůbec vybavena a zákazník je obsloužen až při další rozvážce, nebo jede vozidlo extra jen k němu. Firma nemá v nákladním automobilu žádnou rezervu, tudíž nelze obsloužit zákazníka navíc. Opět se firma chová neefektivně.

Dispečer by měl být schopen pomocí vkládacího algoritmu, řešit situaci nově příchozího požadavku v době, kdy je vozidlo na trase. Zákazník je vložen do předem dané trasy, tak aby prodloužení bylo minimální. Ne v každém případě je to ideální, ale rozhodně efektivnější, než libovolné vložení požadavku na cestu.

Druhou možností je re-optimalizace. Ta spočívá v nalezení nového optimálního řešení úlohy, ve kterém vozidlo po novém požadavku navštíví všechna zbylá místa a ujede přitom nejkratší vzdálenost.

Proto dále budou nastíněné všechny možné situace, které mohou u firmy nastat. Budou porovnány výsledky obou metod výpočtu. Následně bude popsáno, jak by se k takovým situacím měli postavit dispečeri. Pro dynamické rozvozní úlohy je nutností, aby ve skladu bylo naloženo více balíků, než jsou požadavky statické úlohy. Jinak nelze obsloužit nového zákazníka. Jaký počet zvolit je však obtížné. Lze se zachovat na základě předchozích skutečností, nebo odhadovat pomocí statistiky.

4.3.1 Výpočet vkládacím algoritmem

Vkládací algoritmus je heuristická metoda, tudíž u získané hodnoty účelové funkce nelze dokázat, zda je optimální. V případě vkládacího algoritmu můžou nastat tyto situace:

1. Nový požadavek by překročil kapacitu vozidla na všech trasách, z toho vyplývá nová další trasa.
2. Nový požadavek nepřekročí kapacitu vozidla na některé z tras a může být zařazen do rozvozu, tak aby prodloužení bylo minimální.

K nastínění první situace využiji rozvoz pro střední Čechy, kde kapacita vozidla je 1056 ks zboží a součet požadavků byl 1003 ks. Vozidlo vyjede na trasu a přijde nový požadavek na 60 ks zboží. Novým místem může být Nymburk. Součet požadavků by překročil kapacitu vozidla na trase a tak nový zákazník bude obsloužen až po návratu vozidla

do skladu. Protože je tato trasa jediná, musí vzniknout další nová trasa, aby byl požadavek splněn. Tato trasa má pouze jedno odběrné místo. Vše je znázorněné na obrázku č. 9. Červená čára symbolizuje nově vzniklou trasu. Vzdálenost od skladu k zákazníkovi je 46 kilometrů. Z toho plyne, že kromě klasického rozvozu dlouhého 293 km, by se musel řidič vydat na další trasu, která by byla dlouhá 92 km a naložení automobilu by bylo pouhých 60 ks zboží, což jsou necelé dvě palety. Celkem by bylo najeto 385 km.



Obrázek 9: Mapa rozvozu s novým místem (zdroj: vlastní práce, 18)

Výpis trasy:

Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

Praha → **Nymburk** → **Praha**

Z tohoto důvodu, je pro takový případ vkládací algoritmus nevyhovující. Čím dále bude nový požadavek od skladu, respektive od výchozího místa, tím více kilometrů bude najeto.

V případě, kdy není překročena kapacita vozidla V na některé z navržených tras. Lze nalézt město, za které bude vložen nový zákazník. Umístění nového zákazníka na trasu respektuje minimální prodloužení trasy. Zákazníky lze vkládat na trasu do té doby, než je překročena kapacita vozidla. V případě rozvážky po středních Čechách, kdy se realizuje na dvou trasách, viz kapitola 4.2.2, může nastat tato situace. Překročí-li nový požadavek 139 ks zboží, tak nemůže být realizován na trase A:

[A] **Praha** → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

Na trase A se rozváží 917 ks a byla by překročena kapacita vozidla. Délka trasy A je 213 km. Proto musí být požadavek zařazen do druhé trasy B, kde je volná kapacita 537 ks pro realizaci požadavků.

[B] **Praha** → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → **Praha**

Novým městem je opět Nymburk a kapacita je 140 ks. Pomocí vkládacího algoritmu, byl zákazník vložen do trasy B a to za Český Brod. Nový požadavek přišel v době, kdy je vozidlo na trase A. Výpočet změny účelové funkce je v tabulce č. 14. Nejmenší nárůst kilometrů nastane při vložení zákazníka mezi Český Brod a Lysou nad Labem.

Trasa B	do Nymburka	z Nymburka	Odečet původní vzdálenosti	Δz
Praha → Říčany	46	45	22	69
Říčany → Český Brod	45	22	17	50
Český Brod → Lysá nad L.	22	17	18	21
Lysá nad L. → Benátky nad J.	17	22	11	28
Benátky nad J. → Brandýs nad L.	22	34	18	38
Brandýs nad L. → Praha	34	46	23	57

Tabulka 14: Výpočet změny účelové funkce pro trasu B (zdroj: vlastní práce)

Po navštívení Nymburka by měl řidič dále pokračovat po své trase směrem Lysá nad Labem. Nová trasa B bude mít toto pořadí:

Praha → Říčany → Český Brod → **Nymburk** → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → **Praha**

Délka nové rozvážkové trasy B je dlouhá 136 km a rozveze se 659 ks zboží. Celkem se najede 349 km.

Pokud by firma obdržela další požadavek, tentokrát na město Řevničov s potřebou 50 ks balení nápoje. Nebyla by překročena kapacita na žádné z obou tras. Nelze uvažovat o vložení Řevničova na trasu B. Změna účelové funkce je příliš vysoká, je to dáno velkou vzdáleností mezi městy na trase B a Řevničovem. Výpočet Δz je v tabulce v příloze č. 1. Z výsledků v tabulce číslo 15, je evidentní, že Řevničov by měl být navštíven po Unhošti. Dále by trasa pokračovala do Rakovníka, Berouna a Prahy.

Trasa A	do Řevničova	z Řevničova	Odečtení původní vzdálenosti	Δz
Praha → Neratovice	52	66	25	93
Neratovice → Mělník	66	56	12	110
Mělník → Kralupy nad V.	56	43	23	76
Kralupy nad V. → Slaný	43	23	22	44
Slaný → Kladno	23	28	15	36
Kladno → Unhošť	28	30	8	50
Unhošť → Rakovník	30	14	35	9
Rakovník → Beroun	14	44	40	18
Beroun → Praha	44	52	33	63

Tabulka 15: Výpočet změny účelové funkce pro trasu A (zdroj: vlastní práce)

Délka trasy po zařazení Řevničova je dlouhá 222 km, rozveze 967 ks zboží a vypadá následovně:

Praha → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → **Řevničov** → Rakovník → Beroun → **Praha**

Celý rozvoz s Řevničovem za pomoci vkládacího algoritmu je dlouhý 337 km.

Pro dynamický rozvozní plán v severních Čechách by vytvoření rozvoz vypadalo obdobně. Znovu se musí otestovat, zda požadavek nepřesáhne kapacitu vozidla na trase a dále se postupuje stejně, jak je popsáno v této podkapitole.

4.3.2 Výpočet re-optimalizace

Re-optimalizace spočívá v přepočítání celé trasy pro zákazníky, kteří nebyli zatím navštíveni. Proto při příchodu nového požadavku, by měl dispečer nalézt optimální trasu pro nenavštívené zákazníky. Využívá veškeré informace, co má pro daný okamžik k dispozici.

Tento algoritmus je účinný vzhledem k minimalizaci počtu ujetých kilometrů. Jeden z problémů je při příchodu velkého počtu nových požadavků na jedné trase, kdy častá reoptimalizace vede k zahlcení systému. Pokud má dispečer na starosti několik rozvozů a tras, je i pro něj časově nemožné, několikrát za sebou přepočítávat každou trasu. V případě firmy XYZ s.r.o tato situace nenastává často. Další úskalí je při velkém počtu zákazníků.

S rozměrnou maticí vzdáleností velmi rychle narůstá výpočetní náročnost. V programovacím jazyce LINGO vypadá výpočetní algoritmus následujícím způsobem:

MODEL:

SETS:

mestaD:alfa,qD;
trasa(mestaD,mestaD):kmD,x;
ENDSETS

DATA:

v=1056;
mestaD,qD,kmD,jnext,L=@OLE("DP_stred.xlsx");
@ole("DP_stred.xlsx")=x;
ENDDATA

ND=@SIZE(mestaD);
MIN=@SUM(trasa:kmD*x);
@FOR(mestaD(i):x(i,i)=0);
@FOR(mestaD(i)|I#NE#1:@SUM(mestaD(j):x(i,j)=1);
@FOR(mestaD(j)|J#NE#1:@SUM(mestaD(i):x(i,j)=1);
alfa(1)=0;
alfa(jnext)=L;
@FOR(mestaD(i):@FOR(mestaD(j)|J#NE#1 #AND# J#NE#I:alfa(i)-alfa(j)+qD(j)-v*(1-x(i,j))<=0));
@FOR(mestaD(i)|I#NE#1:qD(i) - alfa(i)<=0);
@FOR(mestaD(i)|I#NE#1:alfa(i) - v <= 0);
x(1,jnext)=1;
@FOR(trasa:@BIN(x));

END

Ve srovnání se zápisem statické úlohy, je zde navíc pár dalších informací. Je potřeba znát *jnext*. Je to index pro místo, do něhož směřuje vozidlo, po přijetí nového požadavku. Množina *alfa* obsahuje dosud nenavštívená místa a *L* je objem nákladu po návštěvě nového zákazníka.

Pro názornost a porovnání byl znovu použit rozvoz ve středních Čechách. Jako v předchozí kapitole budou zvoleny dvě situace. První z nich je rozvoz, který je realizován na jedné trase a nový požadavek přesáhl kapacitu vozidla. Použit byl Nymburk s požadavkem na 140 ks balíků. Pokud požadavek přijde v době, kdy je vozidlo v modré části trasy, rozvoz se rozdělí na dva okruhy s celkovou délkou 362 km:

- Původní:** **Praha** → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**
Nový 1: **Praha** → Říčany → Český Brod → **Nymburk** → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → **Praha**

Nový 2: Praha → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

2. **Původni: Praha** → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

V druhém případě, kdy požadavek přijde na cestě z Českého Brodu a dále (modře označená města), bude situace jiná. Nový zákazník zavolal v době, kdy vozidlo bylo na cestě ze Slaného do Kladna. Algoritmus říká, že tuto cestu musí dojet až do Kladna. Po spuštění výpočtu došel software k výsledku, že nejkratší bude dojet původní trasu. Do Nymburka se vydat samostatně na nové trase.

Nový 1: Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha**

Nový 2: Praha → **Nymburk** → **Praha**

Celkem je trasa dlouhá 385 km.

Realizace rozvážky na dvou trasách nabízí dvě možnosti. Pokud nastane situace s příchodem nového požadavku od Řevničova na 50 kusů zboží a vozidlo bude na trase A směřovat do Kralup nad Vltavou. V takovém případě bude po re-optimalizaci, Řevničov navštíven po Slaném a z Řevničova se bude pokračovat do Rakovníka. Tato trasa je odlišná od výpočtu vkládacím algoritmem a vypadá takto:

[A] **Praha** → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → **Řevničov** → Rakovník → Kladno → Unhošť → Beroun → **Praha**

[B] **Praha** → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → **Praha**

Délka trasy A je 216 km a B je stejná 115 km. Celkem je rozvoz dlouhý 331 km.

V případě, že nový požadavek nastane až v okamžiku, kdy je vozidlo v Kladně. Trasa bude po reoptimalizaci vypadat takto:

[A] **Praha** → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → **Praha**

[B] **Praha** → Unhošť → **Řevničov** → Rakovník → Beroun → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → **Praha**

Celková délka trasy je 383 km. Trasa A je dlouhá 127 km a trasa B 256 km. Na trase A se rozveze 592 ks a na trase B 894 ks.

Vkládací algoritmus je vhodný, pokud je k dispozici volná kapacita na trase. Pokud nelze do žádné trasy vložit nový požadavek, kvůli překročení kapacity, musí vzniknout další nová trasa. Čím více bude vzdálen nový požadavek od skladu, tím víc se prodlouží cesta. Vkládací algoritmus je velmi dobře použitelný v praxi a není zde problém při příchodu většího množství požadavků. Oproti tomu re-optimalizace je nevhodná na velký počet zákazníků a nově příchozích požadavků. Během re-optimalizace je velmi důležité, v jakém okamžiku přijde nový požadavek.

Pokud přijde požadavek na Nymburk před cestou do Lysé nad Labem, tak re-optimalizací se ušetří 23 km oproti vkládacímu algoritmu. V případě, že požadavek dorazí až v další části trasy, tak mezi výsledky není rozdíl v délce trasy. Jestliže není na trase překročena kapacita a Nymburk lze vložit do cesty, tak dojde k nárůstu o 21 km oproti původnímu plánu rozvážky bez Nymburka. Při zařazení Řevničova do rozvozního plánu, je hodnota účelové funkce u re-optimalizace o 6 km lepší.

5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Na stávající situaci u firmy je rozhodně prostor pro zlepšení. Jedná-li se o situaci, kdy je veškeré zboží rozvezeno na jedné trase, lze ušetřit 76 kilometrů ve středních Čechách a 88 kilometrů v severních Čechách. Pro případ rozvozu na dvou trasách, je možno ušetřit celkem 178 kilometrů. Takovéto zkrácení trasy ušetří jak peníze, tak i čas řidiče strávený na cestách. Rozhodně by měla firma myslet i na menší opotřebení vozidla. Shrnutí všech statických tras je v tabulce číslo 16.

	Stávající situace ve firmě				Statická úloha- optimalizace			
	Jedna trasa (km)	Rozvezené zboží (ks)	Dvě trasy (km)	Rozvezené zboží (ks)	Jedna trasa (km)	Rozvezené zboží (ks)	Dvě trasy (km)	Rozvezené zboží (ks)
střední Čechy	369	1003	421	1436	293	1003	328	1436
severní Čechy	571	998	705	1342	483	998	620	1342

Tabulka 16: Porovnání vypočtených výsledků s původní situací (zdroj: vlastní)

V dynamických rozvozních úlohách je velmi důležité, v jakém okamžiku přijde požadavek, lépe řečeno, kde se nachází vozidlo v době příchodu nového požadavku. Jak už bylo řečeno vkládací algoritmus je rychlý a snadno použitelný v praxi. Na druhou stranu re-optimalizace může poskytnout lepší výsledek. V případě Nymburka s překročením kapacity vozidla, bylo město vždy vloženo do nové trasy. U re-optimalizace záleží na době příchodu požadavku. Když požadavek přijde včas, dá se ušetřit 23 kilometrů. Pro pozdější příchod je délka stejná pro oba algoritmy. Pro přidání Řevničova na rozvoz po dvou okruzích je znovu rozdíl v době příchodu požadavku. Pokud bude vozidlo před Kladnem na trase A je opět re-optimalizace lepší o 6 km. V opačném případě se trasa prodlouží až na 383 km.

	Dynamická úloha - vkládací algoritmus			Dynamická úloha – re-optimalizace			
	Jedna trasa Nymburk	Dvě trasy Nymburk	Dvě trasy Řevničov	Jedna trasa Nymburk 1	Jedna trasa Nymburk 2	Dvě trasy Řevničov 1	Dvě trasy Řevničov 2
střední Čechy	385	349	337	362	385	331	383

Tabulka 17: Situace a rozdíly mezi algoritmy v kilometrech (zdroj: vlastní)

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit rozvozní plán pro firmu, která rozváží zdravý nápoj, plněný do plastových lahví. Sklad zboží, kde firma nakládá, je v Praze. Firma si vytvořila svůj vlastní rozvozní plán, který realizuje. Po pár měsících rozvozu, však zjistila, že náklady jsou vysoké. Vzhledem k podepsané smlouvě mezi výrobcem nápoje a logistickou firmou je odstoupení od smlouvy velice nákladné. Stávající rozvoz firmy byl zhodnocen jako neefektivní. Byl vytvořen matematický model pro rozvozní úlohy, který byl přepsán do programovacího jazyka LINGO. Metodou větví a mezí byli vypočítány nové optimální rozvozní plány. V oblasti středních Čech by měl být realizován rozvoz následovně:

1. Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha = 293** km (1003 ks zboží)

2. Praha → Říčany → Český Brod → Lysá nad L. → Benátky nad J. → Brandýs nad L. → **Praha** → Neratovice → Mělník → Kralupy nad V. → Slaný → Kladno → Unhošť → Rakovník → Beroun → **Praha = 328** km (1436 ks zboží)

Pro severní Čechy je optimální rozvozní plán následující:

1. Praha → Liberec → Nový Bor → Česká Lípa → Česká Kamenice → Děčín → Ústí nad L. → Teplice → Bílina → Duchcov → Litvínov → Most → Chomutov → Žatec → Louny → Libochovice → Lovosice → Litoměřice → Ústěk → Štětí → Roudnice nad L. → **Praha = 483** km (998 ks zboží)

2. Praha → Liberec → Nový Bor → Česká Lípa → Česká Kamenice → Děčín → Ústí nad L. → Teplice → Bílina → Duchcov → Litvínov → Most → Chomutov → Žatec → Louny → Libochovice → **Praha** → Lovosice → Litoměřice → Ústěk → Štětí → Roudnice nad L. → **Praha = 620** km (1342 ks zboží)

Všichni zákazníci budou obsloženi dle požadavků a ujetá vzdálenost bude minimální, pokud firma bude respektovat tento plán. Snížením počtu najetých kilometrů klesne i doba strávená na rozvozu. Roční úspora nového plánu oproti původní situaci je 83 tisíc Kč.

Dalším cílem bylo nastínění a vyřešení situace, kdy vozidlo je na své rozvážkové trase a firma obdrží nový požadavek od zákazníka. Tato situace byla řešena pomocí dvou algoritmů. Vždy byl zvolen fiktivní odběratel. Nejprve došlo k použití vkládacího algoritmu, který poskytuje suboptimální řešení. Je velice jednoduchý a dobře použitelný. Další metoda výpočtu byla re-optimalizačním algoritmem. V tomto případě velmi záleží na době příchodu

požadavku do firmy a také na rozsahu úlohy. Pokud bude matice vzdáleností velmi rozsáhlá, tak výpočet bude trvat dlouho a dispečer nebude moci jednat pohotově a předat informace vozidlu na trase. Re-optimalizace mnohdy poskytuje lepší výsledek, ale ne vždy je čas na její aplikaci.

Firmě byli předány nové rozvozní plány statické úlohy, aby mohla ponížít náklady. Dále byl dispečerům vysvětlen princip vkládacího algoritmu, aby věděli jak nejlépe si poradit s příchodem nového požadavku bez sofistikovaného programu. Managementu firmy byl vřele doporučen optimalizační software pro nákladní silniční dopravu.

7 CITOVANÁ LITERATURA

1. PERNICA, Petr. *Logistika: vymezení a teoretické základy*. Dot. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1995. ISBN 80-7079-820-3.
2. ŠTŮSEK, Jaromír. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. Vyd. 1. V Praze: C.H. Beck, 2007. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.
3. ŠTŮSEK, Jaromír. *Logistický management*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, Katedra řízení, 2005. ISBN 80-213-1259-9.
4. SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005. Business books (CP Books). ISBN 80-251-0573-3.
5. FÁBRY, Jan. *Matematické modelování*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-066-9.
6. LAGOVÁ, Milada a Josef JABLONSKÝ. *Lineární modely*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Oeconomica, 2009. ISBN 978-80-245-1511-3.
7. MAŇAS, Miroslav. *Matematické metody v ekonomice*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-7079-157-8
8. JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
9. PELIKÁN, Jan. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. 1. vyd. Brno: Professional Publishing, 2001. ISBN 80-86419-17-7.
10. BROŽOVÁ, Helena a Milan HOUŠKA. *Základní metody operační analýzy*. Vyd. 1. Praha: Credit, 2002. ISBN 80-213-0951-2.
11. FÁBRY, Jan. *Dynamické okružní a rozvozní úlohy*. VŠE-FIS, Praha, 2006
12. DRAHOTSKÝ, Ivo a Bohumil ŘEZNIČEK. *Logistika - procesy a jejich řízení*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003. Praxe manažera (Computer Press). ISBN 80-7226-521-0.
13. FIALA, Petr. *Operační výzkum: nové trendy*. 1. vyd. Praha: Professional publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-036-2.
14. ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

15. TADEI, R., PERBOLI, G., DELLA CROCE, F.: *A Heuristic Algorithm for the Auto-Carrier. Transportation Problem*. Transportation Science, February 2002, vol. 36, no 1, s. 55-62.

Internetové zdroje:

16. Ministerstvo dopravy Č, *Sazby mýtného pro rok 2015*. [online], [15.2.2016].
Dostupný z WWW:
http://www.mdcr.cz/cs/ZPOPLATNENI_PK/SAZBY_MYTNEHO_01012015/SABY_MYTNEHO_01012015.htm
17. Tachospeed , *Pracovní doba řidiče*. [online], [15.2.2016]. Dostupný z WWW:
<http://tachospeed.cz/pracovni-doba-ridice/>
18. Google Inc., *Mapy Google*. [online], [15.10.2015]. Dostupný z WWW:
<https://www.google.cz/maps/>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Sazby mýtného (16)

Tabulka 2: Rozvážková města okolí Prahy s požadavky (zdroj: XYZ s.r.o, vlastní práce)

Tabulka 3: Rozvážková města severních Čech s požadavky (zdroj: XYZ s.r.o, vlastní práce)

Tabulka 4: Vzdálenosti měst ve středních Čechách (zdroj: vlastní, 18)

Tabulka 5: Porovnání první a druhé trasy (zdroj: vlastní práce)

Tabulka 6: Vzdálenosti pro severní Čechy (zdroj: vlastní, 18)

Tabulka 7: Požadavky s překročením kapacity jednoho vozidla (zdroj: vlastní)

Tabulka 8: 1. Trasa pro rozvoz ve středních Čechách (zdroj: vlastní)

Tabulka 9: Postupné splnění požadavků (zdroj: vlastní)

Tabulka 10: Naložení vozidla na trase č.2 (zdroj: vlastní)

Tabulka 11: Zvýšené požadavky zákazníků v severních Čechách (zdroj: vlastní)

Tabulka 12: Stav zboží v kamionu na 1. a 2. trase po S Čechách (zdroj: vlastní)

Tabulka 13: Porovnání nákladů (zdroj: vlastní)

Tabulka 14: Výpočet změny účelové funkce pro trasu B (zdroj: vlastní práce)

Tabulka 15: Výpočet změny účelové funkce pro trasu A (zdroj: vlastní práce)

Tabulka 16: Porovnání vypočtených výsledků s původní situací (zdroj: vlastní)

Tabulka 17: Situace a rozdíly mezi algoritmy v kilometrech (zdroj: vlastní)

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení logistických aktivit (3)

Obrázek 2: Fáze při aplikaci operačního výzkumu (8 str. 11)

Obrázek 3: Vkládací algoritmus pro dynamickou rozvozní úlohu (11 str. 86)

Obrázek 4: Výběr trasy s obslužením nového zákazníka (11 str. 87)

Obrázek 5: Nákladní automobil firmy (zdroj: vlastní)

Obrázek 6: Doba řízení a přestávek (17)

Obrázek 7: Pořadí měst pro střední Čechy s rozvážkou (zdroj: vlastní práce, 18)

Obrázek 8: Řešení pro střední Čechy (zdroj: vlastní práce)

Obrázek 9: Mapa rozvozu s novým místem (zdroj: vlastní práce, 18)

8 PŘÍLOHY

Priloha č. 1: Vložení Řevničova na trasu B vkládacím algoritmem.

Trasa B	do Řevničova	z Řevničova	Odečet původní vzdálenosti	Δz
Praha → Říčany	52	77	22	107
Říčany → Český Brod	77	102	23	156
Český Brod → Nymburk	102	113	22	193
Nymburk → Lysá nad L.	113	90	17	186
Lysá nad L. → Benátky nad J.	90	93	11	172
Benátky nad J. → Brandýs nad L.	93	77	18	152
Brandýs nad L. → Praha	77	52	23	106