ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Eliška Kammelová

RACIONALIZACE SKLADOVÝCH PROCESŮ VYBRANÉ FIRMY

Bakalářská práce

2017

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

K617....................................... **Ústav logistiky a managementu dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Eliška Kammelová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – MED – Management a ekonomika dopravy a telekomunikací

Název tématu (česky): **Racionalizace skladových procesů vybrané firmy**

Název tématu (anglicky): Rationalization of Warehouse Processes of Selected Company

Zásady pro vypracování

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

- Obor působení firmy PST CLC a.s.
- Analýza stávajících skladových procesů
- Matematický aparát lokačních úloh a teorie zásob
- Přehled metod řešení zvolených úloh
- Návrh optimálního rozmístění skladů
- Stanovení optimální výše zásob pro vybrané typy zboží

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Mocková, D. Základy teorie dopravy. Úlohy. ČVUT v Praze, 2007

Volek, J., Linda, B. Teorie grafů. Aplikace v dopravě a veřejné správě. Univerzita Pardubice, 2012

Pastor, O., Tuzar, A. Teorie dopravních systémů. Wolters Kluwer ČR, 2007

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Alena Rybičková**

doc. Ing. Josef Volek, CSc.

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

Datum odevzdání bakalářské práce: **28. srpna 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Eliška Kammelová
jméno a podpis studenta

V Praze dne .... 30. června 2016

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Aleně Rybičkové a doc. Ing. Josefovi Volkovi, CSc. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří mi umožnili přístup k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 20. srpna 2017 ……………………..……………

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

RACIONALIZACE SKLADOVÝCH PROCESŮ VYBRANÉ FIRMY

bakalářská práce

červen 2017

Eliška Kammelová

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je zefektivnění dopravy zboží z distribučního centra k zákazníkům a to využitím lokačních úloh a nadále optimalizace v oblasti skladových procesů – v teorii zásob. V teoretické části je definován a vysvětlen princip lokačních úloh, jejich typy a možné způsoby řešení. V teorii zásob je popsána základní terminologie, členění zásob a modely řízení zásob. V praktické části je algoritmus otestován na reálné úloze distribuce slaného a sladkého pečiva v České republice. Výsledek je porovnán s řešením získaného pomocí programu FLP Spreadsheet Solver v Excelu. Dále je vypočítána optimální velikost dodávky, s tím spjatá optimální velikost nákladů a délka dodacího cyklu.

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis is to efficiently organise the transport of the goods from the distribution center to the customers, leveraging the location problem and further optimisation in the region of the warehouse processes – in the inventory theory. Principles of the location problem, their types and the possible solution are defined in the theoretical part. The basic terminology, kinds of stocks and the inventory theory models in the inventory theory are described. The algorithm is tested on the real problem of the distribution sweet and savoury baked products in Czech republic in the practical part. The result is comparison with the solution obtained using the program FLP Spreadsheet Solver in Excel. Further the optimal delivery size is calculated with the associated optimal cost size and the delivery cycle length.

KLÍČOVÁ SLOVA

Logistika, lokační úlohy, skladování

KEY WORDS

Logistics, location problem, warehousing

Seznam použitých zkratek

LC	logistické centrum
ISO	International Organization for Standardization / Mezinárodní organizace pro normalizaci
ČR	Česká republika
AEOF	Authorized Economic Operator / Oprávněný hospodářský subjekt
TIR	Transports Internationaux Routiers / Mezinárodní silniční doprava
ATA	Addmission temporaire / temporary admission / dočasné přijetí
WMS	Warehouse Management system / Systém řízeného skladu
ERP	Enterprise Resource Planning / Podnikový informační systém
FIFO	first in – first out/ první vstoupí – první odejde
FEFO	first expired – first out / první expirováno – první odejde
LIFO	last in – first out / poslední vstoupí – poslední odejde
ČSAD	Československá státní automobilová doprava
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points / Systém analýzy rizika a stanovení kritických kontrolních bodů
CCTV	Closed Circuit Television / Kamerový systém
ESFR	Early Suppression Fast Response / Sprinklerové hasící zařízení
PHM	pohonné hmoty
ZZS	Zdravotnická záchranná služba
EOQ	Economic order quantity / Ekonomická velikost objednávky
POQ	Production order quantity/ Produkční velikost objednávky
LP	lineární programování

Obsah

1. Úvod

Otázkou optimalizace se lidstvo zabývá již téměř celou historií. Počátky lokační analýzy se datují do 60. let 20. století. S rozvojem moderní informační technologie a s možností lepšího výpočtu došlo k rapidnějšímu nárůstu využívání ve všech průmyslových odvětvích. Složitost a náročnost řešených úloh také výrazně vzrostla.

Řada úloh diskrétní optimalizace vede k řešení pomocí matematických modelů a to často s celočíselnými proměnnými. S těmito úlohami se můžeme setkat v mnoha průmyslových odvětvích a také v dopravě, kde se nejčastěji řeší lokační úlohy, úlohy okružních jízd nebo problém obchodního cestujícího.

Většina těchto úloh je příliš rozsáhlá a náročná pro řešení pomocí exaktních metod v ohledu na časovou náročnost, jelikož jsou procházena všechna možná řešení. Při použití kombinatoriky v lokační úloze řešíme $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!k!}$ možností, kde *n* je počet vrcholů a *k* počet umísťovaných dep, což při větším počtu vrcholů znamená velký nárůst možných řešení. U složitějších úloh je využíváno exaktních metod pro podrobnější prozkoumání jednotlivých úloh a slouží jako podklad pro heuristické metody. Heuristické metody jsou schopné nalézt řešení, které však nemusí být optimální, v uspokojivém čase. V hladových algoritmech se snažíme o postupné umísťování středisek podle účelových funkcí. Do metody lokálního hledání řadíme iterativní algoritmus, kde je hlavním principem záměnná heuristika.

Při skladování se snažíme neustále snižovat množství zásob, jelikož můžeme získat prostředky na jiné investice, které získáme při uvolnění nějaké části zásobeného majetku, s kterým je vázán kapitál. Proto se snažíme o optimalizaci objemu zásob. Důležité je, aby nedocházelo k nedostatku, ale ani k nadbytku zásob.

Cílem této bakalářské práce je prozkoumat možné řešení heuristických algoritmů pro diskrétní úlohy na konkrétním příkladu. V druhé kapitole se zabývám oborem působení firmy, která dané zboží uskladňuje a zajišťuje distribuci. Třetí kapitola analyzuje stávající skladové procesy. Je uveden přehled skladovacích míst firmy, základní informace o dováženém zboží, které je následně distribuováno po České republice, a následný výpočet pro stávající situaci. Čtvrtá kapitola se zabývá matematickým aparátem lokačních úloh a teorií zásob. Je zde především vysvětlena základní terminologie či jejich dělení. Pátá kapitola přináší přehled metod řešení diskrétních úloh a podrobněji popisuje princip lokační úlohy. V šesté kapitole se setkáváme s návrhem na optimální rozmístění skladů, kde místo jednoho současného logistického centra uvažujeme využití dalších tří skladů. Následně se snažíme optimálně umístit čtyři rozvozová depa do sedmi logistických center firmy. Sedmá kapitola stanovuje optimální výši zásob pro vybraný typ zboží.

2. Obor působení firmy [1]

Firma PST CLC, a.s. poskytuje komplexní služby vycházející z provázaného logistického řetězce. Zajišťuje proclení zboží prostřednictvím veřejných a neveřejných celních pracovišť. Působí jako dodavatel spedičních a skladových služeb. Zajišťuje rychlou přepravu zboží, jeho uskladnění a proměnlivé zpracování v logistických centrech (zajištění inovativních řešení v oblasti interní logistiky). Logistická centra (dále uváděno jako LC) jsou výhodně rozmístěná po celé České republice. Firma je držitelem certifikátů kvality ISO a dalších osvědčení nejvyššího stupně.

2.1 Spediční služby

Firma se svými spedičními službami se snaží o flexibilní a individuální přístup ke všem zakázkám a požadavkům. Cílem je najít rychlé a spolehlivé řešení ve všech druzích dopravy po ČR a Evropě. Dopravní služby se lokalizují především v České republice, dále v mezinárodním měřítku v regionu Evropské unie a Ruska. Firma se specializuje hlavně na kamionovou a námořní dopravu. Do dalších oblastí světa se uskutečňuje především letecká, popř. železniční přeprava.

2.2 Celní služby

Jestliže se zaměříme na celní služby, PST CLC, a.s. je kvalitou služeb v popředí v rámci České republiky. Firma je držitelem certifikátu AEOF („Oprávněný hospodářský subjekt“; Authorized Economic Operator) a jelikož je to nejvyšší stupeň osvědčení, zahrnuje proclení zboží zjednodušeným celním postupem s důrazem na bezpečnost procesu. Služby jsou tedy spojeny s vyšší rychlostí, jednoduchostí a bezpečností.

Mezi hlavní služby patří zpracování a podání celních prohlášení pro všechny celní režimy, podání tranzitního celního prohlášení k celnímu úřadu Hamburg, přímé a nepřímé zastupování v celním řízení, využití elektronického celního řízení, propuštění zboží do režimů bez nutnosti předložení ho celním orgánům. Dále se nabízí možnost využití centralizovaného celního řízení, jde o propuštění zboží do daného režimu na jiném celním úřadě, než je zboží předkládáno. Zpracovává a podává hlášení Intrastat v ČR a na Slovensku, neboli statistické evidence o pohybu zboží v rámci Evropské unie. Společnost méně často vystavuje ostatní tranzitní doklady (Karnet TIR, ATA), dále umožňuje uskladnění zboží v celním skladu či poradenství v celní problematice pro fyzické a právnické osoby.

[1] Čerpáno ze zdroje [1]

2.3 Interní logistika

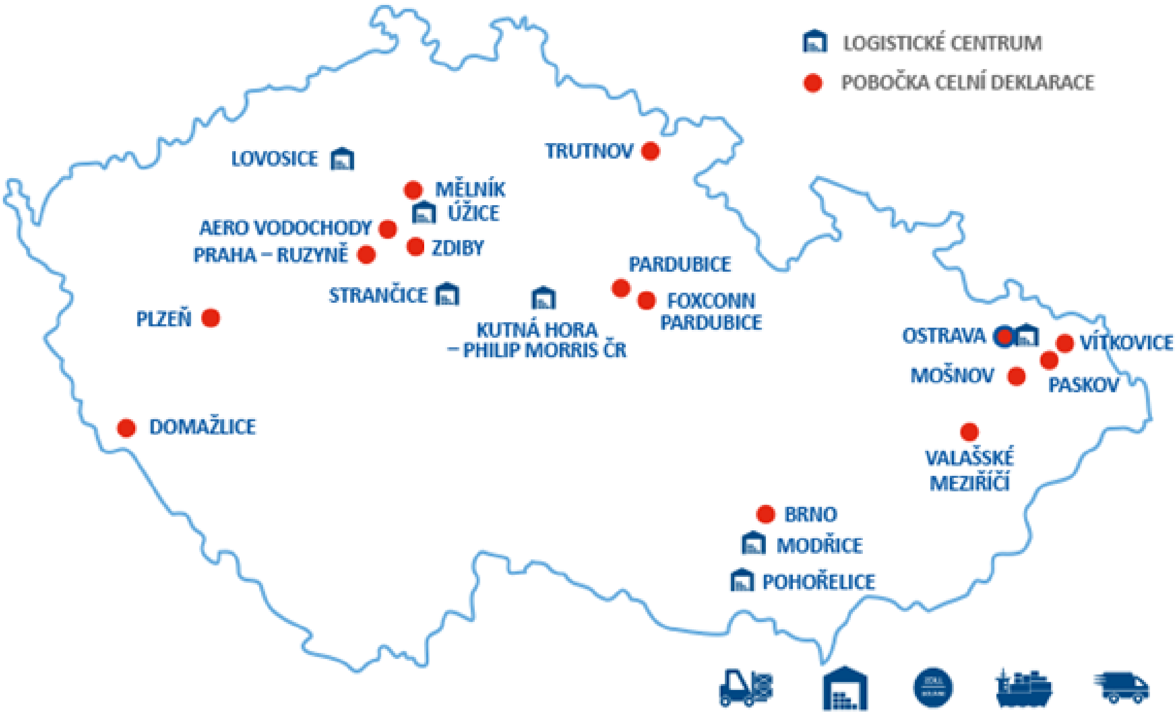
Základním prvkem interní logistiky firmy je zajištění kompletního logistického řetězce, tedy nákupní, výrobní, přepravní i prodejní logistiky. Nabízejí audit a outsourcing interní logistiky, to znamená provedení efektivity logistiky a výrobních procesů, vyhodnocení materiálového toku, optimalizace skladových zásob. Co se týče outsourcingu, firma zákazníkovi zabezpečuje veškeré nutné operace pro zajištění plynulé a efektivní výroby v závodě, tedy zajišťuje tok materiálů a distribuci hotových výrobků. Zákazník se může plně věnovat své hlavní činnosti - výrobě. Díky tomu umožňuje výraznou optimalizaci nákladů.

2.4 Skladovací služby

Poslední významnou službou je skladování. Firma vlastní 7 moderních logistických center po celé České republice, které nabízejí přes 70 000 m^2 skladovacích prostorů. Dalšími sklady, které PST CLC poskytuje, jsou celní a daňové s moderním WMS řešením s napojením na transportní modul (viz kapitola 2.4.1). Vychystává se vždy dle požadavků konkrétního klienta a firma nabízí všechny standartní režimy, jako FIFO (first in- fisrt out), FEFO (first expired – first out, hraje zde roli datum spotřeby), LIFO (last in – first out), kanban (jen požadované množství podle požadavků zákazníka), dle konkrétní exspirace, šarže, výrobního čísla. Nabízejí online přístup k software informacím včetně systému objednávek. Řeší správu palet a vratných obalů a sleduje jejich veškerý pohyb (dodání a vrácení od odběratele). Součástí služeb je také kontrola kvality, management objednávek, diagnostika a kontrola vráceného zboží, vkládání reklamních předmětů a zpracování speciálních příbalů a multipacků. Mezi služby s přidanou hodnotou firma nabízí etiketování, kolkování, balení, přebalování, sdružování a rozdružování. Zajišťuje distribuci zboží ke konečnému zákazníkovi.

2.4.1 WMS

WMS představuje specializovaný systém pro řízení skladů, který se od běžného modulu pro sklad ERP liší převážně zavedením určité formy adresace, neboli umístěním zboží ve skladu. Evidence příjmů a výdajů je standartní součástí i u běžného ERP systému, kde je zahrnut popis zboží, cena a množství. ERP nezohledňuje určitá omezení zboží, jako jsou např. rozměry, hmotnost aj. při umísťování ve skladu, ani neřeší priority např. ABC skupiny zboží z hlediska optimalizace zásob. Systém WMS zvládá průběžné sledování a řízení skladových operací, informování potřebného pracovníka a je kompletně propracovanější. Pro samotnou identifikaci slouží radiofrekvenční rozpoznání čárového kódu. [2]



Obr.1 – Pobočky celních deklarací a umístění LC (Zdroj: [1])

3. Analýza stávajících skladových procesů

3.1 Sklady PST

Ohledně stávajících skladových kapacit, firma disponuje dvěma druhy skladů. Prvními jsou dedikované sklady pro jednoho konkrétního zákazníka. Těmi jsou dvě LC ve Strančicích (13 500 m^2) a v Pohořelicích (16 500 m^2) pro Barum Continental s.r.o., která byla vystavena v roce 2011. Firma pro Barum Continental s.r.o. zároveň poskytuje logistické služby v České republice a na Slovensku. Společně s ČSAD Uherské Hradiště zajišťují denní distribuci pneumatik. Třetím dedikovaným skladem je LC pro Philip Morris ČR a.s. v Kutné Hoře (20 000 m^2), které bylo otevřeno v roce 2010. O tři roky dříve pro Philip Morris ČR a.s. již firma začala zajišťovat outsourcing interní logistiky a spediční služby. [1]

Druhým typem skladů jsou multiuser LC, která jsou, jak již z názvu vyplývá, určená pro více klientů s různým sortimentem. Tyto sklady firma provozuje celkem čtyři:

- LC Úžice (13 200m^2, D8 – Exit 9 Úžice);
- LC Modřice (5 000m^2, R52 – Exit Modřice);
- LC Ostrava (3 900m^2, D1 – Exit 354 Ostrava – Jih);
- LC Lovosice (3 000m^2, D8 – 0,5 km). [1]

3.2 Základní skladové procesy

Pro proces příjmu zboží je typické, že většinou probíhá na základě avíza od ukladatele. Avízo by mělo obsahovat základní informace o zboží: druh, množství, váhu, čas příjezdu a daného dopravce. Samotný proces začíná při vyložení zboží. Zboží je zkontrolováno, zda není poškozené a logistická data se porovnávají s daty z avíza a dodacím listem. Při shodě jsou údaje zadávány do informačního systému a veškeré zboží je označováno etiketou s čárovým kódem.

Dalším krokem je zaskladnění zboží, tedy přemístění zboží odpovědným pracovníkem na místo uložení, převážně do paletových regálů, či do vychystávací zóny. Pozice palet ve skladu jsou zaznamenávány pomocí informačního systému. Jejich umístění není zcela náhodné, řídí se druhem zboží či váhou, velikostí zboží nebo balných obalů.

Proces skladování zahrnuje především manipulaci s obalovými jednotkami, např. při naskladnění. Způsob uložení zboží je v 90% v paletových regálech, zbytek na volné ploše.

Obr. 2 – Uspořádání v paletových regálech (Zdroj: [1])

Vyskladnění zboží opět probíhá na základě avíza – určité objednávky, podle které je vystaven vyskladňovací příkaz. Objednávka by měla proběhnout do 12:00 v den „D“ s návazností doručení po ČR v den „D“ + 24 hod. Zákaznický servis předává pokyn skladníkům k vychystání objednávky. Priorita vychystání se odvíjí dle časových možností nakládky na vozidlo. Proces řadíme mezi časově i organizačně nejnáročnější skladovou operaci. Vychystávání je stále závislé na lidské síle, ale nyní již je také řízeno pomocí WMS, který řeší skladové operace online. Vozidla objednává dispečink dle specifik objednávky, časové doby vykládky, vzdálenosti a vykládkových oken. Dalšími kroky po ukončení kompletace zásilky skladníkem je kontrola zboží, jeho zabalení, ukončení zásilky v systému, vytisknutí expedičních štítků a polepení každé palety objednávky. Takto připravené palety jsou převezeny na expediční zónu. V rámci expedice proběhne při ohlášení řidiče kontrola nákladových kusů dle dokladů a následuje samotná nakládka zboží.

Obr.3 – nakládková zóna (Zdroj: vlastní zpracování)

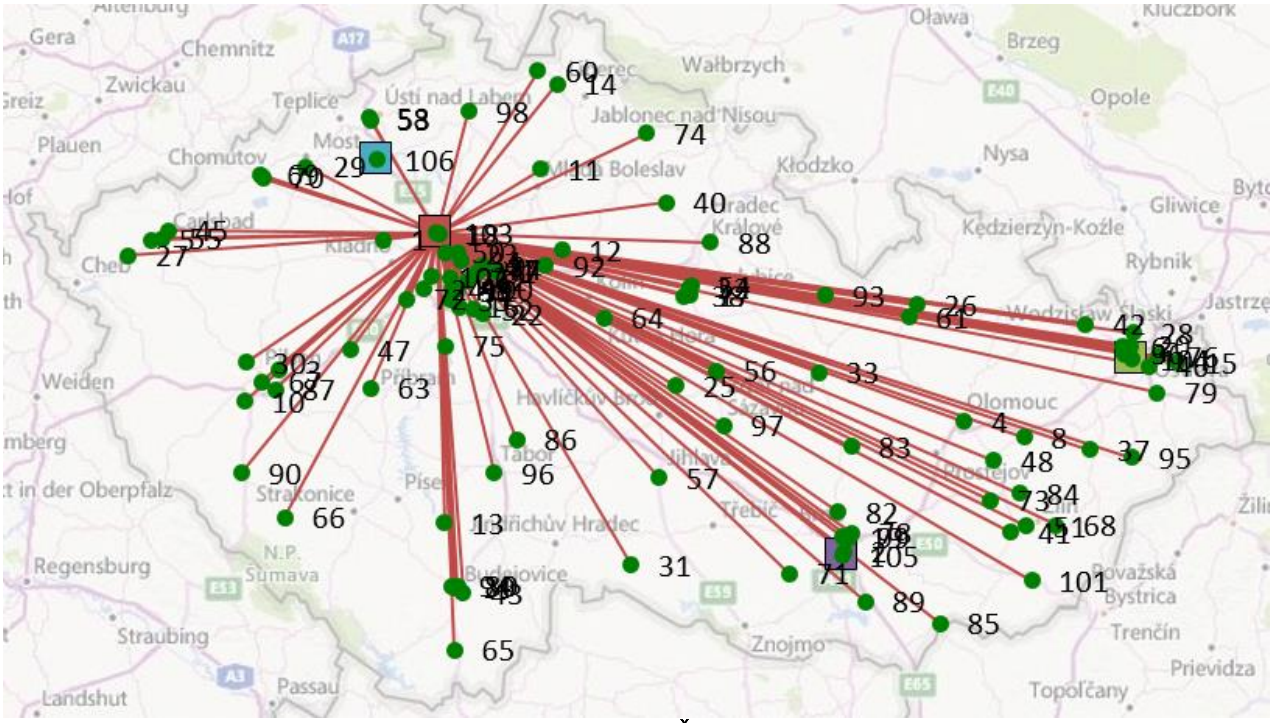
3.3 Základní informace o dováženém zboží

Pro mou práci jsem použila data o dovozu a distribuci potravinářského výrobku, jedná se o slané a sladké pečivo. V prvém kroku popíšu stávající systém distribuce a dovozu, kde je zahrnuto jen jedno depo. V dalším kroku dojde k porovnání s řešením, kde bude využita i ostatní LC a ověřím, zda by nebylo výhodnější jiné umístění skladů.

Jediným depem ve stávající situaci je logistické centrum Úžice. LC v Úžicích zahrnuje automatizované skladovací systémy Kardex, je certifikované pro skladování potravin (HACCP) a disponuje bezpečnostním kamerovým systémem (CCTV), sprinklerovým systémem (ESFR) nebo bezpečnostní službou v areálu 24 hodin denně. [1]

Skladem je průběžně 1 500 palet. Obrátkovost zboží se pohybuje kolem třech týdnů. Zboží se dováží z polské továrny v Tomaszow Mazowiecki a bulharské továrny v Sofii. Denně přijíždí v průměru 3 kamiony a veškeré zboží je na jednodruhových paletách. Zboží je distribuováno po celé České republice. Měsíčně přichází v průměru 600 objednávek, cca 3 000 palet – mixované či snižované palety.

Data pro měření jsou z časového období jednoho měsíce (leden 2017). Pro tento měsíc celkem proběhlo 566 rozvážek do 102 prodejen po celé ČR. Do menších prodejen typu Jednota či JIP je při jedné rozvážce transportováno cca 1 až 6 palet. Do větších prodejen jako je Kaufland, Tesco, Penny Market aj. je při jedné rozvážce doručeno přibližně od 15 do 40 palet.



Obr.4 – umístění skladů a míst rozvozu po ČR (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

3.3.1 FLP Spreadsheet Solver

Pomocí programu FLP spreadsheet solver v Excel, při využití funkce Bing Maps, je v následující tabulce spočítaná vzdálenost mezi LC Úžice a všemi prodejnami po ČR. Umístění jednotlivých prodejen odpovídá Location 1-102, Location 103 se shoduje s LC v Úžicích. Vzdálenostní jednotkou je kilometr.

V základní konzoli programu jsem nastavila počet míst pro 106 adres, z toho přidělená poptávka je pro 102 adres prodejen. Mezní hodnota pokrytí je nastavena na 420 km, jelikož jsou nyní z tohoto skladu obsluhovány všechny prodejny. Typem pokrytí je zvolena kroková funkce, tedy postupnými kroky projít všechna možná řešení.

Pro výpočet vzdálenosti je nastavena v Bing Maps jízdní vzdálenost a je zvolen časově nejrychlejší typ cesty Bing Maps. Pro cenu za jednotku vzdálenosti byl nastaven koeficient 1 kvůli jednoduššímu přepočtu a srovnání jednotlivých cen pro různý vozový park. Pro výpočet řešení je zvoleno jediné LC. Je nastaveno, že musí být obsloužena všechna zařízení. V tabulce níže je vidět, že je poptávka pokryta.

Tab.1 – výpočet vzdáleností (a jednotkových cen) mezi jednotlivými prodejnami a LC Úžice, pokrytí/ nepokrytí poptávky (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	**Capacity**	**Demand allocated**	**Demand covered**	**Cost incurred**
Location 103	**106,00**	**103,00**	**103,00**	**16678,99**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
LC Úžice	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 102	31,63	1,00	1,00	31,63
Location 101	317,17	1,00	1,00	317,17
Location 100	32,02	1,00	1,00	32,02
Location 99	234,19	1,00	1,00	234,19
Location 98	68,49	1,00	1,00	68,49
Location 97	182,99	1,00	1,00	182,99
Location 96	118,65	1,00	1,00	118,65
Location 95	387,44	1,00	1,00	387,44
Location 94	173,67	1,00	1,00	173,67
Location 93	186,01	1,00	1,00	186,01
Location 92	56,86	1,00	1,00	56,86
Location 91	35,02	1,00	1,00	35,02
Location 90	153,73	1,00	1,00	153,73
Location 89	255,48	1,00	1,00	255,48
Location 88	129,17	1,00	1,00	129,17
Location 87	117,55	1,00	1,00	117,55
Location 86	109,00	1,00	1,00	109,00
Location 85	300,42	1,00	1,00	300,42
Location 84	308,46	1,00	1,00	308,46
Location 83	268,74	1,00	1,00	268,74
Location 82	236,59	1,00	1,00	236,59
Location 81	27,38	1,00	1,00	27,38
Location 80	168,76	1,00	1,00	168,76
Location 79	394,25	1,00	1,00	394,25
Location 78	235,65	1,00	1,00	235,65
Location 77	29,93	1,00	1,00	29,93
Location 76	400,52	1,00	1,00	400,52
Location 75	59,89	1,00	1,00	59,89
Location 74	130,71	1,00	1,00	130,71
Location 73	295,41	1,00	1,00	295,41
Location 72	45,96	1,00	1,00	45,96

Location 71	237,80	1,00	1,00	237,80
Location 70	89,49	1,00	1,00	89,49
Location 69	91,64	1,00	1,00	91,64
Location 68	333,04	1,00	1,00	333,04
Location 67	116,27	1,00	1,00	116,27
Location 66	157,66	1,00	1,00	157,66
Location 65	197,84	1,00	1,00	197,84
Location 64	92,49	1,00	1,00	92,49
Location 63	89,02	1,00	1,00	89,02
Location 62	25,35	1,00	1,00	25,35
Location 61	236,39	1,00	1,00	236,39
Location 60	128,71	1,00	1,00	128,71
Location 59	34,68	1,00	1,00	34,68
Location 58	63,82	1,00	1,00	63,82
Location 57	158,07	1,00	1,00	158,07
Location 56	168,81	1,00	1,00	168,81
Location 55	128,82	1,00	1,00	128,82
Location 54	127,76	1,00	1,00	127,76
Location 53	62,91	1,00	1,00	62,91
Location 52	44,54	1,00	1,00	44,54
Location 51	320,79	1,00	1,00	320,79
Location 50	15,25	1,00	1,00	15,25
Location 49	33,64	1,00	1,00	33,64
Location 48	313,63	1,00	1,00	313,63
Location 47	77,98	1,00	1,00	77,98
Location 46	398,21	1,00	1,00	398,21
Location 45	128,89	1,00	1,00	128,89
Location 44	29,16	1,00	1,00	29,16
Location 43	174,35	1,00	1,00	174,35
Location 42	399,58	1,00	1,00	399,58
Location 41	317,64	1,00	1,00	317,64
Location 40	131,38	1,00	1,00	131,38
Location 39	170,35	1,00	1,00	170,35
Location 38	131,91	1,00	1,00	131,91
Location 37	368,86	1,00	1,00	368,86
Location 36	387,99	1,00	1,00	387,99
Location 35	37,63	1,00	1,00	37,63
Location 34	17,16	1,00	1,00	17,16
Location 33	196,72	1,00	1,00	196,72
Location 32	127,04	1,00	1,00	127,04
Location 31	198,35	1,00	1,00	198,35
Location 30	123,92	1,00	1,00	123,92
Location 29	75,21	1,00	1,00	75,21
Location 28	403,68	1,00	1,00	403,68
Location 27	146,61	1,00	1,00	146,61

Location 26	242,33	1,00	1,00	242,33
Location 25	137,00	1,00	1,00	137,00
Location 24	38,20	1,00	1,00	38,20
Location 23	15,33	1,00	1,00	15,33
Location 22	46,78	1,00	1,00	46,78
Location 21	26,36	1,00	1,00	26,36
Location 20	391,39	1,00	1,00	391,39
Location 19	230,63	1,00	1,00	230,63
Location 18	2,48	1,00	1,00	2,48
Location 17	131,69	1,00	1,00	131,69
Location 16	41,01	1,00	1,00	41,01
Location 15	409,27	1,00	1,00	409,27
Location 14	119,52	1,00	1,00	119,52
Location 13	149,53	1,00	1,00	149,53
Location 12	75,20	1,00	1,00	75,20
Location 11	81,01	1,00	1,00	81,01
Location 10	127,00	1,00	1,00	127,00
Location 9	29,57	1,00	1,00	29,57
Location 8	335,17	1,00	1,00	335,17
Location 7	38,52	1,00	1,00	38,52
Location 6	390,89	1,00	1,00	390,89
Location 5	134,49	1,00	1,00	134,49
Location 4	306,93	1,00	1,00	306,93
Location 3	111,63	1,00	1,00	111,63
Location 2	232,62	1,00	1,00	232,62
Location 1	31,78	1,00	1,00	31,78

3.4 Výpočet stávající situace

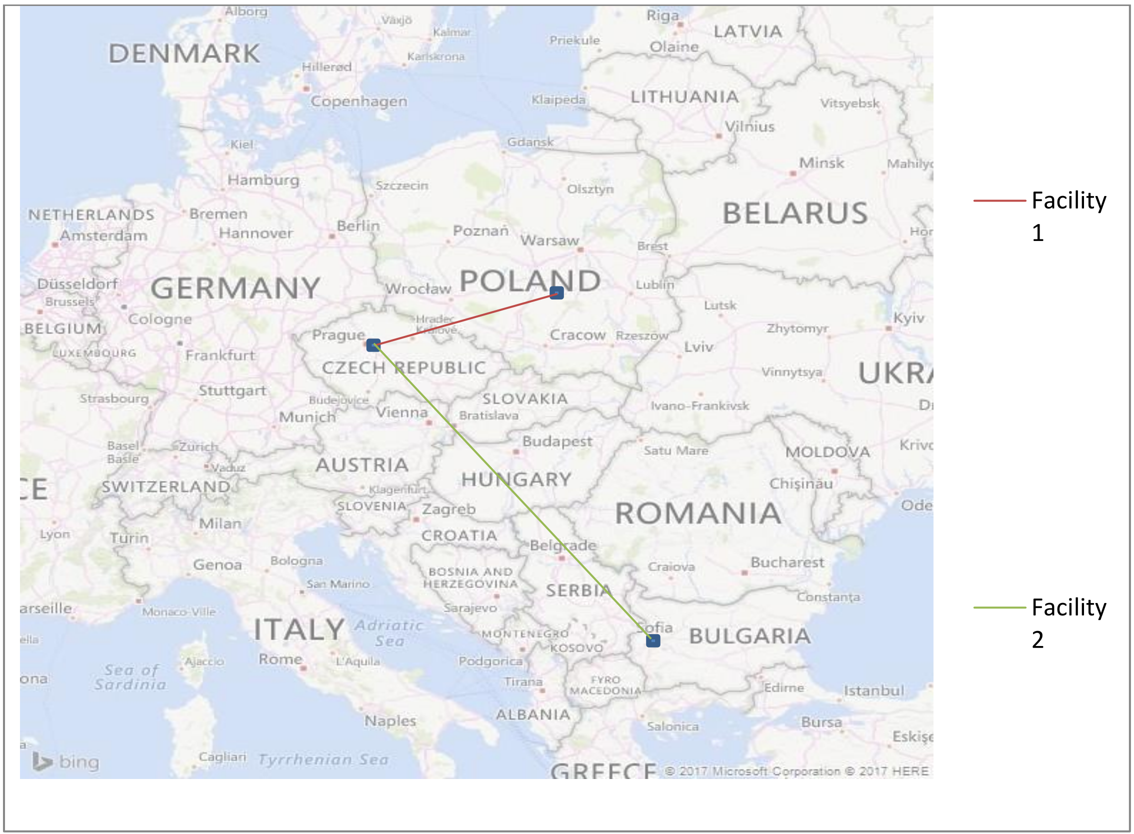
Z předchozí tabulky využijeme sumu za ujeté kilometry či sumu cen za ujeté km. Jelikož je koeficient jedna, tak se shodují. Hodnota obsloužení 102 prodejen tedy činí 16 678,99 km.

Zboží je vozeno na europaletách o rozměrech 120x80 cm, nejsou stohovatelné, jelikož jejich výška je kolem 2,4 m, jezdí pouze v jedné vrstvě palet. Do jednoho kamionu vzhledem k daným rozměrům jsme schopni narovnat maximálně 33 palet. Poměr dovozů z Polska k Bulharsku činí přibližně 80:20. Z celkového průměrného počtu cca 93 kamionů/ měsíc tvoří 75 kamionů dovoz z Polska a 18 z Bulharska.

Tab. 2 – vzdálenosti při dovozu z PL a BG (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
LC Úžice	**3,00**	**3,00**	**3,00**	**1936,89**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
LC Úžice	0,00	1,00	1,00	0,00
Továrna PL	602,59	1,00	1,00	602,59
Továrna BG	1334,30	1,00	1,00	1334,30

Pro rozdělení v poměru 80:20, vychází při dovozu z Polska celková vzdálenost pro 75 kamionů 45 194,25 km a pro 18 kamionů z Bulharska 24 017,40 km. Při součtu těchto dvou vzdáleností a jednotlivých vzdáleností při distribuci po ČR při užití skladu Úžice získáváme konečné číslo 85 890,64 km.



Obr. 5 - Zobrazení vzdáleností při dovozu ze zahraničí (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

4. Matematický aparát lokačních úloh a teorie zásob

4.1 Lokační úlohy [2]

Lokační analýza je vědní disciplínou o lokacích, neboli o optimálním rozmístění zařízení v dopravní síti. Pro odbavení požadavků je nutné vykonat určitou dopravní práci, která je měřitelná (vzdálenost, čas, PHM).

Setkáváme se s dvěma základními možnostmi budování středisek. První je umístění dep do prostoru, kde zatím žádná střediska nejsou a to buď v konkurenčním či nekonkurenčním prostředí. Druhá možnost je umístění dep do prostoru, kde již nějaká depa jsou a musíme je zohlednit v rozmísťování nových. Snažíme se tedy o rozšíření existující sítě s ohledem na narůstající požadavky zákazníka. Avšak lokační analýzou řešíme i případnou redukci středisek obsluhy. Oba dva případy budování středisek záleží na velikosti požadavků za časovou jednotku a na dosažitelnosti a velikosti území.

Jiným typem dělení lokačních úloh je z hlediska možného umístění jednotlivých středisek obsluhy. Střediska můžeme umísťovat buď do vrcholů (diskrétní lokace), na hrany (síťová lokace) nebo kdekoliv v prostoru (spojitá lokace). V řešení lokačních úloh se snažíme o minimalizaci dopravní práce při obsluze vrcholů a hran. Účelová funkce však může být i maximalizační, např. můžeme maximalizovat zisk.

Diskrétní lokační úlohy spadají do kombinatorické optimalizace. Počet možností, jak umístit k dep do n vrcholů znamená určení kombinace k-té třídy z n prvků, kde $n=|V|$. Tyto úlohy v praxi lze jen omezeně řešit prozkoumáním všech řešení, jelikož časová náročnost rychle narůstá s rozsahem vstupu (k a n). Je tedy vhodné použít pro výpočet metodu, která nebude procházet veškerá přípustná řešení. Volíme tedy pro výpočet heuristickou metodu. Výhodou je rychlost výpočtu, avšak přípustná množina řešení je redukována, tedy nepředstavuje optimální řešení.

4.1.1 Terminologie

Dále bych upřesnila základní pojmy, které souvisí s lokačními úlohami.

Dopravní síť v lokační analýze převedeme na souvislý, vrcholově a hranově ohodnocený obyčejný graf G.

[2] V kapitole 4.1 je čerpáno ze zdrojů [3], [4] a [5]

Střediska obsluhy

Množinu dep neboli místa, kde jsou umístěna střediska obsluhy, jako např. školy, obchody, sklady, stanice záchranné služby nebo v mém případě skladové prostory, značíme D_k, kde písmeno *k* značí počet středisek. Je-li počet vrcholů roven $n = |V|$, pro *k* platí $1 \leq k \leq n$. Počet středisek umísťovaných na síti je základním parametrem pro lokační úlohy. Většinou uvažujeme větší počet středisek, která umísťujeme naráz, avšak je reálná úloha s jediným střediskem. Střediska mohou být kvantitativně omezená kapacitou skladů či aut.

Obsluhované vrcholy a hrany

Požadavky na obsluhu mohou vznikat ve vrcholech nebo na hranách, rozlišujeme:

- vrcholovou lokaci,
- hranovou lokaci.

Ve vrcholech sídlí potencionální zákazníci a jsou to místa vzniku jejich požadavků na obsluhu, např. zásobování, výjezd ZZS. Pro obsluhu úseků můžeme např. uvést zimní údržbu komunikace.

Vzdálenost mezi dvěma vrcholy $(u, v \in V)$ označujeme *d(u,v)*.Je definována jako délka nejkratší cesty mezi těmito dvěma vrcholy: $d(u, v) = \min\limits_{m(u,v) \in M} \left\{ \sum_{h \in m(u,v)} o(h) \right\}$, kde M je množina všech cest spojujících dané vrcholy, *o(h)* je ohodnocení jednotlivých hran cesty *m(u,v)*.

Pro diskrétní lokační úlohy, kde střediska jsou umístěna ve vrcholech, ale obsluhujeme celé hrany, definujeme vzdálenost uzlu *v* od hrany *h =(u,w)* vztahem $d(v, h) = \min\{d(v, u), d(v, w)\}$.

Atrakční obvody

Pojmem atrakční obvod $A(v)$ depa $v \in D_k$ rozumíme množinu vrcholů $u \in V$ a hran $h \in X$, které jsou depem *v* obsluhovány. V užším slova smyslu zavádíme prvotní atrakční obvod a přidělený atrakční obvod.

Prvotní atrakční obvod střediska *v* značíme $A'(v)$. Je vymezen požadavky pro vrcholy *u* a hrany *h, pro který platí*: $u \in A(v)$, pokud neexistuje depo $w \in D_k$, pro které $d(w, u) < d(v, u)$ a pro $h \in A(v)$, pokud neexistuje depo $w \in D_k$, pro které $d(w, h) < d(v, h)$.

Do prvotního atrakčního obvodu nemusí patřit všechny vrcholy a hrany sítě. Pro uzly a úseky stejně vzdálené od dvou či více středisek může nastat situace, že musíme určit právě jedno středisko, které bude obsluhovat. Zavádí se přidělený atrakční obvod $A^*(v)$ depa $v \in D_k$, kterým rozumíme množinu vrcholů $u \in V$ a hran $h \in X$ sítě, pro kterou platí vztahy: $A'(v) \subseteq A^*(v) \subseteq A(v)$ pro všechna střediska $v \in D_k$. $A(v)$ je atrakční obvod, kde je možná obsluha prvků sítě stejně vzdálených od dvou nebo více středisek kterýmkoliv z nich. Je tedy nadmnožinou prvotních atrakčních obvodů. Přidělené atrakční obvody by měly pokrýt celou síť G=(V,H): $\bigcup_{v \in D_k} A^*(v) = H \cup V$. Pro přidělené atrakční obvody tedy platí, že každý prvek patří do jednoho přiděleného atrakčního obvodu středisek množiny D: $A^*(u) \cap A^*(v) = 0$, pro libovolné $u, v \in D_k$, kde $u \neq v$. Avšak pro objektivní přidělení atrakčních obvodů, je nutné znát množství požadavků jednotlivých uzlů a hran např. počet zásilek, jednotlivých výjezdů či důležitost komunikace. Tento parametr označíme $w(v)$, popřípadě $w(h)$ a nazýváme ho váhou uzlů (popřípadě hran).

Kriteriální funkce

Při řešení optimálního rozmístění středisek obsluhy do uzlů rozlišujeme úlohy vedoucí k vrcholové nebo k hranové lokaci.

1. OBSLUHA VRCHOLŮ SÍTĚ

Množina dep D_k je vrcholově optimální rozmístění *k* dep na síti G=(V,H), pro kterou platí: $f(D_k) = \min_{D'_k}\{f(D'_k)\}$, kde $f(D'_k) = \sum_{v \epsilon D'_k} \sum_{u \epsilon A^*(v)} 2 * d(u, v) * w(u)$. A D'_k jsou všechny k-prvkové podmnožiny V.

2. OBSLUHA HRAN SÍTĚ

Množina dep D_k je hranově optimální rozmístění *k* dep na síti G=(V,H), pro kterou platí: $g(D_k) = \min_{D'_k}\{g(D'_k)\}$, kde $g(D'_k) = \sum_{v \epsilon D'_k} \sum_{h \epsilon A^*(v)} \big(2d(v, h) + o(h)\big) w(u)$. A D'_k jsou všechny k-prvkové podmnožiny V.

Pro obě definice platí, že v kriteriálni funkci, jinak označované také účelovou funkcí, minimalizujeme dopravní práci při obsluze. Jestliže se jedná o obsluhu hran, je zde zahrnuto započítání cesty po obsluhované hraně.

Hakimiho věta

Pro umístění dep na hranách sítě platí Hakimiho věta. Nechť pro libovolnou *k*-prvkovou množinu bodů (ne vrcholů) sítě Y_k jsou funkce $f(Y_k)$, $g(Y_k)$, formálně definovány stejně jako *f(Dk)* a *g(Dk)*. Potom existuje alespoň jedna množina *k* vrcholů D_k (D'_k) sítě G=(V,X), pro kterou platí: $f(D_k) \leq f(Y_k), resp. g(D'_k) \leq g(Y_k)$. Neboli funkce *f* a *g* jsou pro Y_k definovány obdobně jako pro množinu D_k [5].

4.2 Teorie zásob [3]

Důvodem zabývání se teorií zásob, je získání odpovědi na otázku kdy a kolik výrobků na sklad objednávat nebo vyrábět. Hledáme optimální poměr mezi náklady určené na skladování a ztrátami způsobenými nedostatkem zásob ve výrobě.

4.2.1 Terminologie

Základním pojmem je zásoba, která představuje dané množství produktu, jako jsou suroviny, rozpracované výrobky, nebo zboží v obchodní síti. Je to zboží, které není v určitém časovém intervalu trvale využívané, ale slouží pro okamžité použití. Z ekonomického hlediska zásoby představují náklady. Jelikož se zdroji, namísto uskladnění, již mohlo být jinak vynaloženo, např. být naskladněno do prodejních prostorů, hovoříme zde o nákladech ztracených příležitostí, blokování finančních prostředků.

Jejich funkcí je vyrovnat časový nesoulad mezi výrobou/ dodávkou a spotřebou. Dochází tedy k pořizování většího množství na vstupech s menší periodou a dále k přežití období mezi utvořením objednávky a dodávkou. V dnešní době je dbán důraz na celkové snižování zásob a s tím spojené snižování nákladů.

Dalším pojmem je poptávka, která definuje požadavky na změnu vlastnictví daného zboží. Může být v uvažovaném období pevně daná, neboli deterministická, nebo může být stochastická, tedy neurčitá a velikost se odhaduje pomocí zvolené pravděpodobnostní funkce nebo je neznámá. Objednávkou definujeme kontaktování dodavatele o dodání určitého množství zboží. S tím jsou spojené náklady, které musí majitel vynaložit. Dělíme je na skladovací, pořizovací a náklady spojené s nedostatkem zásob. Náklady na zajištění jedné dodávky jsou většinou fixní, jelikož pro každé dodání jsou stejně velké. Při zvyšování velikosti dodávky se náklady na jednici snižují. Oproti tomu náklady skladovací jsou závislé na výši zásob.

Pořizovací lhůtou dodávky rozumíme časový interval doručení zboží na sklad od vystavení a odeslání objednávky. Dalším pojmem je období, kterým sledujeme určitou zásobu v závislosti na poptávce. Často je spojeno s počtem dodávek a od něj se pak odvíjí délka dílčího období.

[3] zpracováno ze zdrojů [6] a [7]

4.2.2 Členění zásob

Zásoby můžeme rozdělit např. podle jejich výše na:

- maximální zásobu,
- minimální zásobu,
- průměrná zásobu.

Dalším častým dělením je podle jejich funkcí v logistickém řetězci:

- obratová zásoba (sloužící pro pokrytí období mezi dvěma dodávkami zboží),
- pojistná zásoba (určená pro pokrytí náhodných výkyvů jak na vstupu, tak na výstupu),
- strategická zásoba (k zajištění nepředvídatelných situací),
- spekulativní zásoba (je tvořena za účelem dosažení mimořádného zisku nákupem za nízké ceny a prodejem za vyšší ceny),
- technologická zásoba (použita k potřebám technologického postupu ve výrobě),
- zásoba pro předzásobení (užita hlavně v období sezónnosti).

4.2.3 Modely řízení zásob

Dle kritéria optimalizace můžeme modely zásob rozdělit na dva základní typy – nákladově orientované modely, kterým se budeme více věnovat a modely bez nákladové orientace.

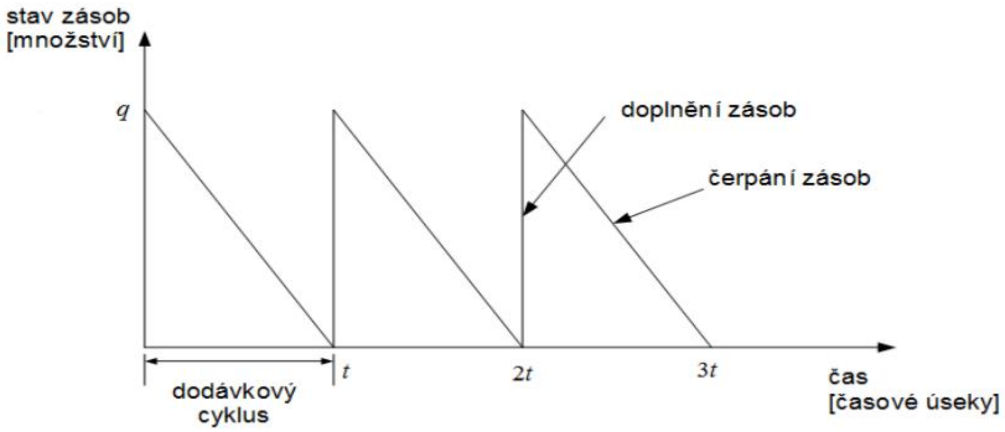
Nákladově orientované modely se snaží o minimalizaci celkových nákladů spojených s pořízením zásob a jejich skladováním, či minimalizují ztráty vzniklých kvůli nedostatku zásob. Zde je nutná znalost nákladové funkce.

U metod bez nákladové orientace není třeba formulovat nákladovou funkci, neboť bychom rádi dosáhli odlišného cíle, např. dobrého načasovaní zásobování a určení optimálního množství pro objednávku, aby se docílilo dovozu zboží bez uskladnění přímo na prodejnu.

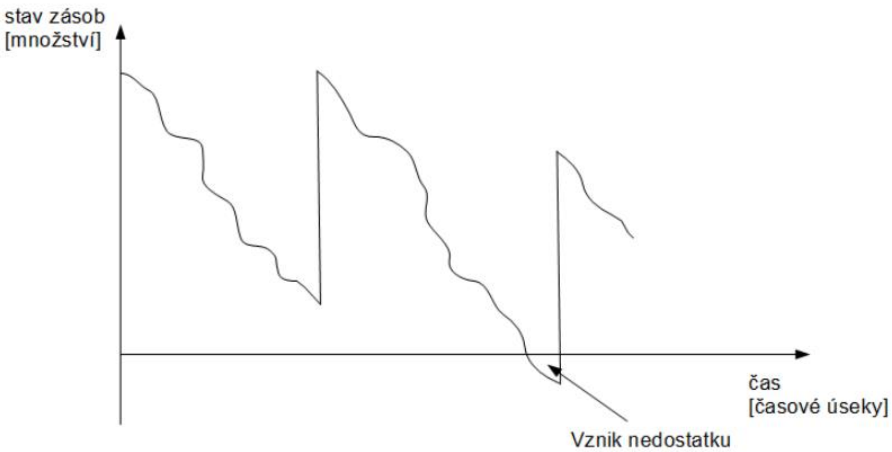
Modely však můžeme členit i z dalších hledisek. U statického modelu se jedná pouze o jedinou dodávku, která se nedá znovu doplnit a z této zásoby jsou potřeby uspokojovány. U dynamického modelu je možné sklad v čase doplňovat a nadále řešíme, zda se objednávání v čase mění či nikoliv. Důležitou součástí je sledování stavu zásob ve skladu, buď po časových intervalech, nebo plynule.

A poslední možné dělení, které si uvedeme, je rozlišení modelů deterministických a stochastických. U deterministického modelu je poptávka v průběhu času určena známou funkcí x(t) a je znám interval pořízení zásob.

U stochastického modelu považujeme poptávku za náhodnou veličinu s určitým pravděpodobnostním rozdělením. Kvůli veliké proměnlivosti poptávky můžou nastat dvě možnosti. První je, že převyšuje množství zásob nad poptávkou. Dochází k nové dodávce před vyčerpáním zásob. Je i možné, že při velkém rozdílu mezi poptávkou a zásobami, je zboží prodáváno pod výrobní cenou. Druhá možnost představuje situaci, kdy poptávka převyšuje zásoby, nedochází k uspokojení potřeb zákazníka. Následky této situace nemusí být okamžité, ale i dlouhodobé v podobě ztráty pravidelného zákazníka.



Obr. 6 – deterministický model (Zdroj: [3])



Obr. 7 – stochastický model (Zdroj: [3])

Model EOQ

Model optimální velikosti objednávky – EOQ (Economic order quantity) - patří do skupiny deterministických dynamických modelů, předpokládáme znalost funkce poptávky a sklad je možný doplňovat v čase. Díky autorovi F.W.Harrisovi a propagátorovi R.H.Wilsonovi je dnes nejčastěji nazýván jako Harrisův-Wilsonův vzorec.

Model je založen na několika zjednodušených předpokladech. Zásoby jsou čerpány nepřetržitě a výše poptávky je konstantní a známá. Pořizovací lhůta dodávek je známá a konstantní, tedy pravidelně se opakují a vždy ve stejném množství. Dalším předpokladem je návaznost nové zásoby v okamžiku úplného vyčerpání. Pomocí modelu se snažíme určit v jak velkých dodávkách a jak často bychom měli objednávat, aby náklady spojené se zásobami byly minimální.

Pro tento model použijeme následující označení a pojmy:

T – délka sledovaného období pro zásobování, často počítáno pro 1 rok,

t – délka dodacího cyklu,

Q – celková spotřeba za dobu T,

q - velikost jednotlivé objednávky,

$q/2$ – průměrná velikost zásoby,

Q/q – množství dodávek za období T,

q_o – optimální velikost dodávky,

c_1 – fixní náklady za pořízení jedné objednávky,

c_2 – náklady spojené se skladováním jednotky množství určitého zboží v době T.

V případě deterministického modelu počítáme celkové náklady součtem nákladů na pořizování zásob (N_1) a skladovacích nákladů na průměrnou výši zásob (N_2) pro jeden dodací cyklus, kde:

$$N_1 = c_1,$$

$$N_2 = c_2 \frac{q}{2} t.$$

Počet dodacích cyklů za období T je rovný podílu Q/q a tedy pro toto období je nákladová funkce rovna $N(q) = (c_1 + c_2 \frac{q}{2} t)\frac{Q}{q}$. Při nahrazení t podílem $\frac{qT}{Q}$ a vyjádření skladových nákladů v závislosti na velikosti objednávky q, získáváme tvar nákladové funkce

$$N(q) = \frac{c_1 Q}{q} + \frac{c_2 T q}{2}.$$

Vypočtení optimální velikosti objednávky q_0 znamená najití lokálního minima funkce. Položíme-li první derivaci nákladové funkce podle proměnné q rovnou nule, získáme:

$$\frac{dN}{dq} = -\frac{c_1 Q}{q^2} + \frac{c_2 T}{2} = 0;$$

$$q_0 = \sqrt{\frac{2c_1 Q}{c_2 T}}.$$

Při vypočtení 2. derivace nákladové funkce v bodě q_0 se přesvědčíme, že se jedná o lokální minimum. Při dosazení hodnoty q_0 do nákladové funkce a po jejím upravení získáme výraz pro optimální velikost nákladů. Platí vztah $N_0 = \sqrt{2c_1 c_2 QT}$.

Optimální délku dodacího cyklu vypočteme ze vztahu $t_0 = \frac{q_0 T}{Q}$ a dosazením hodnoty q_0. Je dán výrazem $t_0 = \sqrt{\frac{2c_1 T}{c_2 Q}}$.

Model POQ

Dalším modelem, se kterým se můžeme setkat je model POQ, produkčně - spotřební. Kde dochází k postupnému doplňování zásob, často vlastní výrobou a zároveň k průběžnému spotřebovávání. Můžeme zde tedy hovořit o průměrně menším množství zásob na skladě. Oproti modelu EOQ hovoříme navíc o intenzitě spotřeby h a intenzitě výroby (doplňování) p, kde $p>h$. A průměrnou velikostí zásob je $(\frac{p-h}{p})\frac{q}{2}$.

Následně má nákladová funkce tvar: $N(q) = c_1 \frac{Q}{q} + c_2 \frac{p-h}{p}\frac{q}{2}T$,

A stejným způsobem jako u EOQ vyjádříme q_0 a N_0. Platí:

$$q_0 = \sqrt{\frac{2c_1 Qp}{c_2 T(p-h)}},$$

$$N_0 = \sqrt{2c_1 c_2 QT \frac{p-h}{p}}.$$

5. Přehled metod řešení zvolených úloh

5.1 Lineární programování [4]

Jedná se o nejrozšířenější oblast v operačním výzkumu v praxi. Matematický model úloh lineárního programování (dále uváděno jen LP) má jedinou lineární účelovou funkci a vlastní omezení úlohy, která jsou popsána pouze lineárními rovnicemi a nerovnicemi. Matematickým modelem úlohy LP s n neznámými a m vlastními omezeními, kde $m,n \in N$, rozumíme úlohu nalézt extrém, tedy maximalizovat či minimalizovat

$$z = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \cdots + c_{1n}x_n$$

za podmínek

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$. \quad . \quad \ldots \quad . \quad \ldots \quad .$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

a

$$x_j \geq 0 \; pro \; j = 1,2, \ldots, n,$$

kde x_j jsou strukturní neznámé, a_{ij} nazýváme strukturními koeficienty, b_i pravou stranou a c_j cenovými koeficienty.

Metody LP, které fungují na základě teorie řešení soustav lineárních nerovnic a algoritmu Jordanovy metody úplné eliminace, umožňují řešit velké množství speciálních optimalizačních úloh LP. Úlohy LP se dají řešit několika metodami, mezi ně především patří simplexová metoda a duálně simplexová metoda.

V grafickém řešení úloh LP, které je jen pro dvě proměnné, řešíme v prvé řadě získání přípustného řešení. A pro něj v druhém kroku hledáme nejlepší hodnotu účelové funkce, které označíme optimálním. Pro zobrazení využíváme kartézské souřadné soustavy v dvourozměrném prostoru. Množinu přípustných řešení získáme průnikem I. kvadrantu a všech zmíněných přímek a polorovin. Vznikne konvexní polygon. Po vyznačení množiny

[4] Zpracováno ze zdrojů [6], [8]

přípustných řešení je nezbytné zobrazit jednu izokvantu, pro zjištění směru jejího posunu oproti polygonu, aby spolu netvořily neprázdnou množinu.

Simplexova metoda je obecný algoritmus pro řešení úloh LP. Vždy vycházíme již z nalezeného neboli výchozího základního řešení úlohy LP. Konkrétní základní řešení volíme podle jednotkové změny hodnoty účelové funkce při přechodu k nové množině základních řešení neboli bázi, lišící se v jedné proměnné, nikoli náhodně. Řešíme do doby, dokud nezískáme lepší hodnotu účelové funkce.

5.1.1 Celočíselné lineární programování

Jestliže budeme klást důraz na dělitelnost některých komodit, či mít proměnné v oboru celých čísel a naopak nepovažujeme za důležité nezápornost neznámých, nazýváme úlohy úlohami celočíselného lineárního programování. Dále je dělíme podle podmínky celočíselnosti na ryze celočíselné úlohy LP nebo smíšené celočíselné úlohy LP. V ryze celočíselných úlohách se vztahuje celočíselnost na všechny proměnné. Ve smíšených celočíselných úlohách LP je podmínka vztahována jen na některé proměnné.

Tyto úlohy se v praxi vyskytují často, avšak výpočet optimálního řešení je velmi náročný. Nelze použít simplexovou metodu, která hledá optimální řešení na množině všech nezáporných reálných čísel. Dále uvádím dva typy algoritmů pro jejich řešení.

5.2 Kombinatorické metody [5]

V této kapitole se zaměřím na metody, které vznikly pro řešení problémů kombinatorické optimalizace. Většina algoritmů se dá využít pro velké množství úloh a nejen pro lokační úlohy, kterými se zabývám ve své práci. Metody můžeme rozdělit do následujících skupin:

- exaktní metody,
- heuristické metody.

5.2.1 Exaktní metody

Exaktními metodami lze řešit především lokační úlohy menšího rozsahu, jelikož jsou postupně procházena a vyhodnocována všechna možná řešení úlohy a tedy je dosaženo optimálního řešení. Samozřejmě kromě rozsahu úlohy záleží také na časové náročnosti, kde tyto dvě veličiny jsou na sobě závislé. Pro složitější úlohy se užívají exaktní metody především pro podrobnější prozkoumání jednotlivých úloh a částečně slouží, jako podklad pro heuristiku.

[5] Teorie převzata ze zdrojů [3] a [4]

V rámci exaktních metod uvedu metodu větvení a mezí a metodu sečných nadrovin, které jsou vhodné pro ryze i smíšeně celočíselné úlohy LP. Obě metody vychází z množiny přípustných řešení úlohy LP bez podmínek celočíselnosti.

Metoda větvení a mezí

Metoda funguje na principu rozdělení prohledávacího prostoru na menší podmnožiny. Jsou vytvořeny větve stromů a postupně jsou vyhledávána optimální řešení s celočíselnou podmínkou. Větvě jsou postupně ukončovány, buď dosažením celočíselného řešení, nebo nalezením neceločíselného řešení s dolní mezí účelové funkce, které je vyšší než maximální hodnota účelové funkce již nalezeného dříve a nebo nenalezením přípustného řešení.

Metoda sečných nadrovin

Pokud při počátečním použití simplexovy metody pro nalezení optimálního řešení nezískáme celočíselné řešení, je při každém dalším kroku vytvořeno jedno další omezení, která oddělují z této množiny přípustných řešení podmnožinu, která neobsahuje celočíselné řešení. V dalším kroku je pro nově vzniklou soustavu omezení opět využita simplexová metoda pro nalezení optimálního řešení. Opakujeme, dokud nezískáme optimální celočíselné řešení.

5.2.2 Heuristické metody

Heuristické metody nezaručují nalezení optima ani správnost řešení, které zaručují exaktní metody, avšak jsou schopné nalézt řešení v uspokojivém čase a řešení bývá v praxi dostačující. Metody jsou založeny na opakujícím získávání zkušeností pozorováním a experimenty. Nejdůležitější váhu pro řešení problémů v praxi hraje jejich časová náročnost řešení.

Hladové algoritmy

Tyto algoritmy jsou nejjednodušším způsobem řešení většiny lokačních úloh. Podle zvolené účelové funkce určíme nejlepší umístění prvního střediska. Při umísťování druhého uvažujeme umístění prvního střediska za pěvně dané a pro druhé středisko spočítáme zvolenou funkci pro všechny možné polohy a nejvhodnější, v tomto případě s minimálními náklady, zvolíme. Stejný postup opakujeme pro další střediska.

Lokální hledání

Další formou získávání řešení je metoda lokálního hledání. Vycházíme z předem daného přípustného řešení, které jsme mohli získat např. použitím jiné heuristické metody. Dalším krokem je postupné prozkoumávání okolí daného řešení. Okolí řešení *p* je množinou řešení, která je v jistém smyslu blízká k *p*. Například proto, že jde snadno vypočítat z *p* nebo protože sdílí velké množství struktury s *p*. Hledáme lepší řešení než je stávající, jestliže ho nalezneme, nahradíme jím stávající přípustné řešení a opět hledáme v okolí nově zvoleného řešení. Proces opakujeme, dokud nenalezneme řešení, které je pro nás dostačující, či dokud jde řešení stále zlepšovat. Do této skupiny řadíme iterativní algoritmus, kde je záměnná heuristika základní myšlenkou [3,4,5].

Iterativní algoritmus

Pro algoritmus je nutné znát zadané *k* a zadané kritérium $f(D_k)$ nebo $g(D_k)$. Výpočet je založen na systematickém prozkoumávání lokací *k* středisek v uzlech sítě, kde se snažíme nalézt řešení s nižší hodnotou kritéria $f(D_k)$/ $g(D_k)$ oproti doposud nejlepšímu nalezenému řešení. V případě zlepšení hodnoty kritéria zaměnit uzel v dané množině za uzel, který v této množině není. Kriteriální funkcí pro uzlově optimální lokaci bude $f(D_k)$, avšak při obsluze úseků ze středisek umístěných v uzlech je kriteriální funkcí $g(D_k)$.

Krok 1: Nejprve si musíme určit výchozí množinu dep D_k, která je podmnožinou množiny *V,* a to tak, že si náhodně zvolíme *k* různých uzlů $v_1, \ldots, v_k$ a $(v_1, \ldots, v_k) \subset V$. Dále určíme množinu neprozkoumaných vrcholů $N = V \setminus D_k$. Pomocnou proměnnou *z* dáme rovnou 0.

Krok 2: Dále zjišťujeme, zda je množina *N* prázdná.

a. Pokud ano, pokračujeme čtvrtým krokem.
b. Při nerovnosti nule, zvolíme libovolně $v \in N$ a postupně nahrazujeme vrcholy $v_j \in D_k$ tímto vrcholem. Tím nám vzniknou množiny $D_k^{v_j} = D_k - \{v_j\} + \{v\}$, kde $j=1, \ldots, k$. Dále pro tyto množiny spočítáme kriteriální funkce a určíme z nich minimální funkci $D_k^{v_r}$.

Krok 3: Posoudíme, zda je původní kriteriální funkce depa D_k větší či menší oproti minimu funkcí ze zvolených množin $D_k^{v_j}$.

a. Při situaci, že je funkce původního depa větší, vytvoříme novou množinu středisek D_k, kde $D_k = D_k - \{v_r\} + \{v\}$. Položíme $z = z+1$ a $N = N - \{v\}$ a pokračujeme krokem 2.
b. Při situaci, že původní účelová funkce depa je menší, pouze vyřadíme vrchol *v* z množiny *N* a pokračujeme krokem 2.

Krok 4: Dále záleží na velikosti pomocné proměnné *z*.

a. Jestliže $z=0$, pokračujeme posledním, pátým krokem.
b. Jestliže je $z > 0$, položíme proměnnou opět rovnou nule a určíme novou množinu neprozkoumaných vrcholů $N = V \setminus D_k$ a pokračujeme krokem 2.

Krok 5: Množina D_k označuje vrcholově nebo hranově optimální rozmístění k dep pro obsluhu uzlů na síti. Kriteriální funkce D_k je minimální hodnota, které jsme schopni dosáhnout pomocí tohoto algoritmu při zadané počáteční množině dep.

Tabu Search

Heuristická metoda Tabu Search, také nazývaná metodou zakázaného prohledávání, je optimalizační algoritmus využívaný v programu FLP Spreadsheet Solver. Řadíme ji do skupiny metod lokálního hledání a princip výpočtu je stejný. Je zde však zavedena tzv. krátkodobá paměť, která si ukládá již navštívená řešení či soubor pravidel daných uživatelem. Jestliže dojde k dřívějšímu navštívení možných řešení nebo porušení pravidla jsou řešení zakázána (tzv. tabu) pro tvorbu nového okolí daného aktuálního řešení a nedochází k opakovanému prověření, tedy zamezíme tím zacyklení.

6. Návrh optimálního rozmístění skladů

Jelikož firma disponuje dalšími multiuser logistickými centry, nebudeme započítávat ostatní náklady, které by musely být vynaloženy pro vybudování nových skladů a nalezení vhodné polohy.

6.1 Parametry distribuce po ČR

Pomocí programu FLP Spreadsheet Solver, Excel a díky Bing Maps jsem získala minimální rozvozové vzdálenosti z nejbližšího logistického centra. Umístění jednotlivých prodejen je opět pod označením Location 1-102. Vzdálenost je opět počítaná v kilometrech, je nastavena Bing Maps jízdní vzdálenost a cena za jednotku vzdálenosti je opět rovná jedné.

Pro vypočítání vzájemných vzdáleností mezi sklady a zákazníky jsou všechny lokace uváděny dohromady v jedné tabulce, ale liší se jejich parametry, které potřebujeme nastavit pro funkčnost výpočtu v řešení lokačních úloh. Pro prodejny je nastaveno, že v jejich vrcholu nesmí vzniknout depo, naopak u LC je zvolena možnost umístění depa.

Tab. 3 – logistické centrum Úžice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 103	**106,00**	**54,00**	**54,00**	**4440,85**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Location 103	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 102	31,63	1,00	1,00	31,63
Location 100	32,02	1,00	1,00	32,02
Location 96	118,65	1,00	1,00	118,65
Location 94	173,67	1,00	1,00	173,67
Location 92	56,86	1,00	1,00	56,86
Location 91	35,02	1,00	1,00	35,02
Location 90	153,73	1,00	1,00	153,73
Location 88	129,17	1,00	1,00	129,17
Location 87	117,55	1,00	1,00	117,55
Location 86	109,00	1,00	1,00	109,00
Location 81	27,38	1,00	1,00	27,38
Location 80	168,76	1,00	1,00	168,76
Location 77	29,93	1,00	1,00	29,93
Location 75	59,89	1,00	1,00	59,89
Location 74	130,71	1,00	1,00	130,71
Location 72	45,96	1,00	1,00	45,96
Location 67	116,27	1,00	1,00	116,27
Location 66	157,66	1,00	1,00	157,66
Location 65	197,84	1,00	1,00	197,84

Location 64	92,49	1,00	1,00	92,49
Location 63	89,02	1,00	1,00	89,02
Location 62	25,35	1,00	1,00	25,35
Location 59	34,68	1,00	1,00	34,68
Location 54	127,76	1,00	1,00	127,76
Location 52	44,54	1,00	1,00	44,54
Location 50	15,25	1,00	1,00	15,25
Location 49	33,64	1,00	1,00	33,64
Location 47	77,98	1,00	1,00	77,98
Location 44	29,16	1,00	1,00	29,16
Location 43	174,35	1,00	1,00	174,35
Location 40	131,38	1,00	1,00	131,38
Location 39	170,35	1,00	1,00	170,35
Location 38	131,91	1,00	1,00	131,91
Location 35	37,63	1,00	1,00	37,63
Location 34	17,16	1,00	1,00	17,16
Location 32	127,04	1,00	1,00	127,04
Location 30	123,92	1,00	1,00	123,92
Location 24	38,20	1,00	1,00	38,20
Location 23	15,33	1,00	1,00	15,33
Location 22	46,78	1,00	1,00	46,78
Location 21	26,36	1,00	1,00	26,36
Location 18	2,48	1,00	1,00	2,48
Location 17	131,69	1,00	1,00	131,69
Location 16	41,01	1,00	1,00	41,01
Location 14	119,52	1,00	1,00	119,52
Location 13	149,53	1,00	1,00	149,53
Location 12	75,20	1,00	1,00	75,20
Location 11	81,01	1,00	1,00	81,01
Location 10	127,00	1,00	1,00	127,00
Location 9	29,57	1,00	1,00	29,57
Location 7	38,52	1,00	1,00	38,52
Location 3	111,63	1,00	1,00	111,63
Location 1	31,78	1,00	1,00	31,78

Tab. 4 – logistické centrum Ostrava (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 104	**106,00**	**17,00**	**17,00**	**678,76**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
LC Ostrava	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 95	50,58	1,00	1,00	50,58
Location 84	81,58	1,00	1,00	81,58
Location 79	23,72	1,00	1,00	23,72

Location 76	13,68	1,00	1,00	13,68
Location 68	104,61	1,00	1,00	104,61
Location 48	81,83	1,00	1,00	81,83
Location 46	11,37	1,00	1,00	11,37
Location 42	28,62	1,00	1,00	28,62
Location 37	68,02	1,00	1,00	68,02
Location 36	7,01	1,00	1,00	7,01
Location 28	17,00	1,00	1,00	17,00
Location 20	8,16	1,00	1,00	8,16
Location 15	22,43	1,00	1,00	22,43
Location 8	63,41	1,00	1,00	63,41
Location 6	12,17	1,00	1,00	12,17
Location 4	84,60	1,00	1,00	84,60

Tab. 5 – logistické centrum Modřice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 105	**106,00**	**23,00**	**23,00**	**1647,4**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
LC Modřice	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 101	95,95	1,00	1,00	95,95
Location 99	12,96	1,00	1,00	12,96
Location 97	87,79	1,00	1,00	87,79
Location 93	122,62	1,00	1,00	122,62
Location 89	28,12	1,00	1,00	28,12
Location 85	73,07	1,00	1,00	73,07
Location 83	55,91	1,00	1,00	55,91
Location 82	23,76	1,00	1,00	23,76
Location 78	13,16	1,00	1,00	13,16
Location 73	74,19	1,00	1,00	74,19
Location 71	42,88	1,00	1,00	42,88
Location 61	140,61	1,00	1,00	140,61
Location 57	92,09	1,00	1,00	92,09
Location 56	111,44	1,00	1,00	111,44
Location 51	99,57	1,00	1,00	99,57
Location 41	96,42	1,00	1,00	96,42
Location 33	83,32	1,00	1,00	83,32
Location 31	111,64	1,00	1,00	111,64
Location 26	146,56	1,00	1,00	146,56
Location 25	123,34	1,00	1,00	123,34
Location 19	9,23	1,00	1,00	9,23
Location 2	2,77	1,00	1,00	2,77

Tab. 6 – logistické centrum Lovosice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	**Capacity**	**Demand allocated**	**Demand covered**	**Cost incurred**
Location 106	**106,00**	**12,00**	**12,00**	**839,10**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
LC Lovosice	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 98	52,07	1,00	1,00	52,07
Location 70	63,14	1,00	1,00	63,14
Location 69	65,29	1,00	1,00	65,29
Location 60	93,82	1,00	1,00	93,82
Location 58	22,90	1,00	1,00	22,90
Location 55	116,48	1,00	1,00	116,48
Location 53	21,99	1,00	1,00	21,99
Location 45	113,13	1,00	1,00	113,13
Location 29	33,86	1,00	1,00	33,86
Location 27	134,27	1,00	1,00	134,27
Location 5	122,16	1,00	1,00	122,16

V této části neřešíme samostatné řešení lokační úlohy, ale jedná se pouze o výpočet atrakčních obvodů pro pevně čtyři zvolená depa. Těmi volím čtyři logistická centra – Úžice, Ostrava, Modřice, Lovosice, jak je zřejmé z předchozích čtyřech tabulek. Pro další propočet využiji součet jednotlivých vzdáleností pro každé logistické centrum:

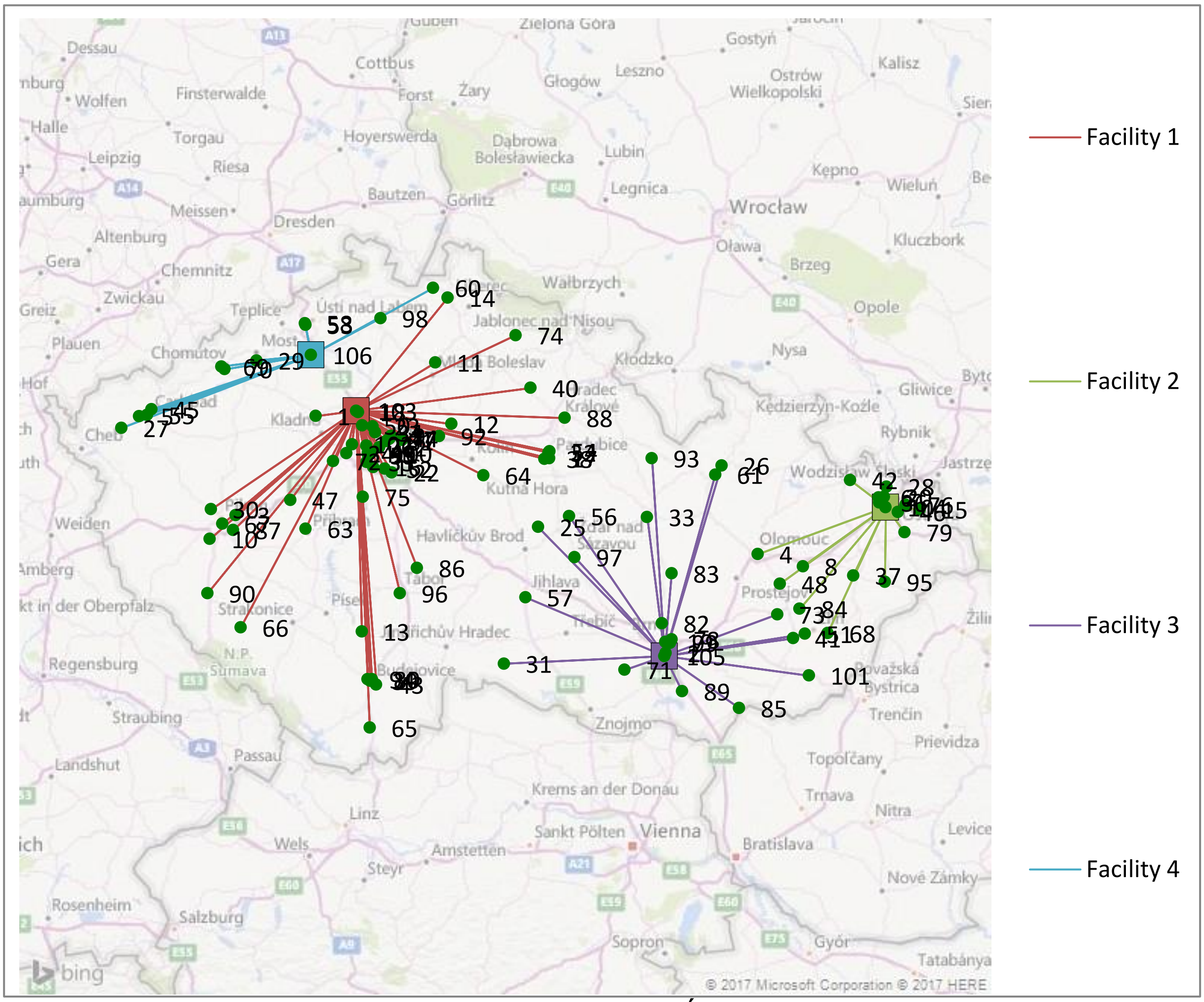
1. LC Úžice – 4 440,85 km,
2. LC Ostrava – 678,76 km,
3. LC Modřice – 1 647,40 km,
4. LC Lovosice – 839,1 km.

Pro přesnější údaje si převedeme počet prodejen za měsíc do podoby počtu palet a následně potřebných kamionů pro dovoz surovin za měsíc. Rozdělení získáme posčítáním palet při jednotlivých rozvážkách do daných prodejen a podle rozdělených atrakčních obvodů dle programu.

Sklad 4: 11 prodejen/ měsíc → 63 palet/ měsíc → 2 kamionů/ měsíc
Sklad 3: 22 prodejen/ měsíc → 122 palet/ měsíc → 4 kamionů/ měsíc
Sklad 2: 16 prodejen/ měsíc → 602 palet/ měsíc → 19 kamiony/ měsíc
Sklad 1: 53 prodejen/ měsíc → 2 217 palet/ měsíc → 68 kamiony/ měsíc

$$\sum 102\ prodejen\ /\ měsíc\ \rightarrow 3\ 004\ \text{palet}\ /měsíc\ \rightarrow\ 93\ \text{kamionů}\ /\ \text{měsíc}$$

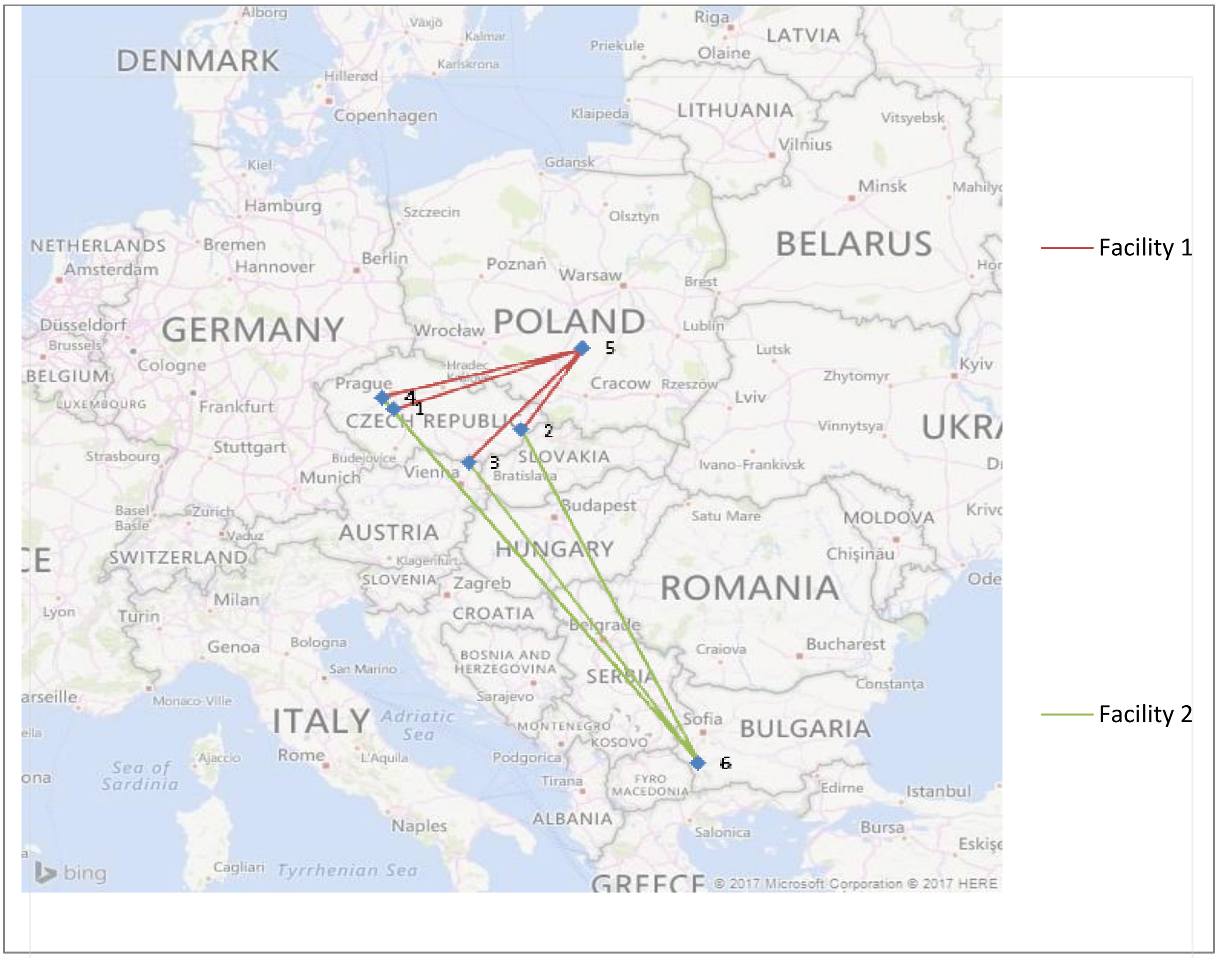
Logistická centra v Úžicích, Modřicích a v Ostravě byla veterinární správou a hygienickou stanicí příslušných krajských měst zkolaudována pro skladování potravin živočišného původu a veterinárních doplňků. Ve skladu v Lovosicích dosud nebylo uděleno povolení pro skladování potravin, protože to doposud nebylo vyžadováno.



Obr. 8 – rozdělení atrakčních obvodů; obvod 1 –LC Úžice, obvod 2 – LC Ostrava, obvod 3 – LC Modřice a obvod 4 – LC Lovosice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

6.2 Parametry dovozu

Dalšími potřebnými parametry pro spočítání optimálních tras jsou dovozní vzdálenosti mezi jednotlivými logistickými sklady v České republice a továrnami v Polsku a Bulharsku.



Obr. 9 - Dovozní vzdálenosti z továren (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Tab. 7 – dovozní vzdálenosti do skladů z polské továrny (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 5	**6,00**	**5,00**	**5,00**	**1949,73**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Továrna PL	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 1	602,59	1,00	1,00	602,59
Location 2	275,60	1,00	1,00	275,60
Location 3	441,94	1,00	1,00	441,94
Location 4	629,61	1,00	1,00	629,61

Tab. 8 - dovozní vzdálenosti do skladů z bulharské továrny (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 6	**6,00**	**5,00**	**5,00**	**5077,75**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Továrna BG	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 1	1334,30	1,00	1,00	1334,30
Location 2	1264,30	1,00	1,00	1264,30
Location 3	1106,43	1,00	1,00	1106,43
Location 4	1372,73	1,00	1,00	1372,73

6.3 Souhrnná data

6.3.1 Vzdálenost

Ohledně rozdělení počtu kamionů se budeme řídit již daným přiřazením podle kapitoly 6.1 Parametry distribuce. Pro rozdělení mezi polskou a bulharskou továrnou použijeme poměr 80:20, 75 kamionů z Polska a 18 z Bulharska.

Tab. 9 – rozdělení počtu kamionů mezi jednotlivá LC (Zdroj: vlastní zpracování)

LC \ továrny	PL	BG	$\sum počet\ kamionů\ pro\ sklady$
LC Úžice	55	13	68
LC Ostrava	15	4	19
LC Modřice	3	1	4
LC Lovosice	2	0	2
$\sum počtu\ kamionů\ pro\ továrny$	75	18	93 \ 93

$$d_{LC\ Úžice} = 4\,440{,}85 + (55 * 602{,}59) + (13 * 1334{,}3) = 54\,929{,}2\ km$$

$$d_{LC\ Ostrava} = 678{,}76 + (15 * 275{,}6) + (4 * 1264{,}3) = 9\,869{,}96\ km$$

$$d_{LC\ Modřice} = 1\,647{,}4 + (3 * 441{,}94) + 1106{,}43 = 4\,079{,}65\ km$$

$$d_{LC\ Lovosice} = 839{,}1 + (2 * 629{,}61) = 2\,098{,}32\ km$$

V následující tabulce je uvedeno porovnání ujetých km při použití 4 pevně daných skladů oproti 1 stávajícímu skladu, v jednotlivých oblastech – distribuce po ČR, dovoz z továren z Polska a Bulharska pro každé LC a celkový součet. V celkovém součtu dosáhneme snížení 14 913,11 ujetých kilometrů, tedy přibližně o 17%. Pro distribuční vzdálenosti po ČR dosáhneme dokonce snížení o 55% - 9 072,88 km.

Tab. 10 – porovnání ujetých km mezi 4 a 1 skladem (Zdroj: vlastní zpracování na základě údajů z FLP Spreadsheet Solver)

	STÁVAJÍCÍ SITUACE			NAVRHOVANÁ SITUACE		
	1 DEPO			4 DEPA		
	Distribuce po ČR [km]	Dovoz z PL [km]	Dovoz z BG [km]	Distribuce po ČR [km]	Dovoz z PL [km]	Dovoz z BG [km]
LC Úžice	16 678,99	45 194,25	24 017,4	4 440,85	33 142,45	17 345,9
LC Ostrava	0	0	0	678,76	4 134	5 057,2
LC Modřice	0	0	0	1 647,4	1 325,82	1 106,43
LC Lovosice	0	0	0	839,1	1 259,62	0
$\sum km$	16 678,99	45 194,25	24 017,4	7 606,11	39 861,89	23 509,53
$\sum km$	85 890,64			70 977,53		

6.3.2 Obsazená plocha

Dalšími potřebnými daty pro možné zrealizování optimálního rozmístění skladů a optimálního přidělení k atrakčním obvodům je obsazená plocha paletami z celkové plochy jednotlivých skladů. Vycházíme z rozměrů europalet a počtu přiřazených palet pro každý sklad. V následující tabulce jsou uvedeny parametry celkových ploch jednotlivých skladů a teoreticky obsazená plocha dováženého zboží v období jednoho měsíce, za předpokladu, že zboží nebude průběžně vyskladňováno. V třetím sloupci je uvedena 33% část dováženého zboží, která je v průměru reálně uskladňována. Poslední sloupec ukazuje procentuální obsazení plochy, která je počítána z 33% části dováženého zboží.

Tab. 11 – Číselné parametry obsazení skladů (Zdroj: vlastní zpracování)

	Celková plocha skladu [m^2]	Teoretické využití plochy [m^2]	33 % část z dováženého zboží [m^2]	Procentuální obsazenost [%]
LC Úžice	13 200	2 128,32	702,35	5,4
LC Ostrava	3 900	577,92	190,72	4,9
LC Modřice	5 000	117,12	38,65	0,8
LC Lovosice	3 000	60,48	19,96	1,7

Ve skladech v Modřicích a v Lovosicích je oproti prvním procentuální obsazení nepatrné. Ve druhém skladě (v Ostravě) kvůli jeho současné vytíženosti by byla nutná dlouhodobější spolupráce a včasné nasmlouvání. Pro LC Úžice by nebyl problém vše uskladnit, navíc když došlo ke zmenšení obsazené plochy při změně atrakčního obvodu o 26%.

6.4 Optimální umístění skladů

6.4.1 FLP Spreadsheet Solver

Jelikož společnost vlastní 7 skladů, ověříme, nakolik je umístění 4 vybraných skladů optimální. Nejprve podle programu, následně pomocí iterativního algoritmu, kde jsme schopni zahrnout i váhu vrcholů, v našem případě, počet dovážek za měsíc k určitému zákazníkovi. Musíme uvažovat, že by veškeré sklady byly typu multiuser.

Tab. 12 – LC Strančice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 108	**109,00**	**53,00**	**53,00**	**4082,84**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Location 108	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 65	150,10	1,00	1,00	150,10
Location 43	126,61	1,00	1,00	126,61
Location 94	125,93	1,00	1,00	125,93
Location 39	122,61	1,00	1,00	122,61
Location 80	121,02	1,00	1,00	121,02
Location 66	141,68	1,00	1,00	141,68
Location 90	153,27	1,00	1,00	153,27
Location 13	101,79	1,00	1,00	101,79
Location 38	135,80	1,00	1,00	135,80
Location 17	135,57	1,00	1,00	135,57
Location 40	135,27	1,00	1,00	135,27
Location 74	139,19	1,00	1,00	139,19
Location 88	133,06	1,00	1,00	133,06
Location 54	131,65	1,00	1,00	131,65
Location 32	130,93	1,00	1,00	130,93
Location 10	126,55	1,00	1,00	126,55
Location 30	123,47	1,00	1,00	123,47
Location 14	128,00	1,00	1,00	128,00
Location 96	70,91	1,00	1,00	70,91
Location 87	117,09	1,00	1,00	117,09
Location 67	115,82	1,00	1,00	115,82
Location 3	111,18	1,00	1,00	111,18
Location 86	61,26	1,00	1,00	61,26
Location 64	68,71	1,00	1,00	68,71
Location 63	73,04	1,00	1,00	73,04
Location 11	89,49	1,00	1,00	89,49
Location 47	77,52	1,00	1,00	77,52
Location 12	79,08	1,00	1,00	79,08
Location 75	43,83	1,00	1,00	43,83

Location 92	60,75	1,00	1,00	60,75
Location 22	8,38	1,00	1,00	8,38
Location 72	45,51	1,00	1,00	45,51
Location 52	10,70	1,00	1,00	10,70
Location 16	19,87	1,00	1,00	19,87
Location 7	42,40	1,00	1,00	42,40
Location 24	39,91	1,00	1,00	39,91
Location 35	24,83	1,00	1,00	24,83
Location 91	22,11	1,00	1,00	22,11
Location 59	21,88	1,00	1,00	21,88
Location 49	22,62	1,00	1,00	22,62
Location 100	20,43	1,00	1,00	20,43
Location 102	46,18	1,00	1,00	46,18
Location 77	38,41	1,00	1,00	38,41
Location 9	38,05	1,00	1,00	38,05
Location 44	37,64	1,00	1,00	37,64
Location 81	34,88	1,00	1,00	34,88
Location 21	27,65	1,00	1,00	27,65
Location 62	27,11	1,00	1,00	27,11
Location 34	36,41	1,00	1,00	36,41
Location 23	39,13	1,00	1,00	39,13
Location 50	43,69	1,00	1,00	43,69
Location 25	103,88	1,00	1,00	103,88

Tab. 13 – LC Ostrava (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 104	**109,00**	**17,00**	**17,00**	**678,76**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Location 104	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 68	104,61	1,00	1,00	104,61
Location 4	84,60	1,00	1,00	84,60
Location 48	81,83	1,00	1,00	81,83
Location 84	81,58	1,00	1,00	81,58
Location 37	68,02	1,00	1,00	68,02
Location 8	63,41	1,00	1,00	63,41
Location 95	50,58	1,00	1,00	50,58
Location 42	28,62	1,00	1,00	28,62
Location 79	23,72	1,00	1,00	23,72
Location 15	22,43	1,00	1,00	22,43
Location 28	17,00	1,00	1,00	17,00
Location 76	13,68	1,00	1,00	13,68
Location 6	12,17	1,00	1,00	12,17
Location 46	11,37	1,00	1,00	11,37

Location 20	8,16	1,00	1,00	8,16
Location 36	7,01	1,00	1,00	7,01

Tab.14 – LC Modřice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 105	**109,00**	**22,00**	**22,00**	**1524,05**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Location 105	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 26	146,56	1,00	1,00	146,56
Location 61	140,61	1,00	1,00	140,61
Location 93	122,62	1,00	1,00	122,62
Location 31	111,64	1,00	1,00	111,64
Location 56	111,44	1,00	1,00	111,44
Location 51	99,57	1,00	1,00	99,57
Location 41	96,42	1,00	1,00	96,42
Location 101	95,95	1,00	1,00	95,95
Location 57	92,09	1,00	1,00	92,09
Location 97	87,79	1,00	1,00	87,79
Location 33	83,32	1,00	1,00	83,32
Location 73	74,19	1,00	1,00	74,19
Location 85	73,07	1,00	1,00	73,07
Location 83	55,91	1,00	1,00	55,91
Location 71	42,88	1,00	1,00	42,88
Location 89	28,12	1,00	1,00	28,12
Location 82	23,76	1,00	1,00	23,76
Location 78	13,16	1,00	1,00	13,16
Location 99	12,96	1,00	1,00	12,96
Location 19	9,23	1,00	1,00	9,23
Location 2	2,77	1,00	1,00	2,77

Tab. 15 – LC Lovosice (Zdroj: FLP Speadsheet Solver)

Facility location	Capacity	Demand allocated	Demand covered	Cost incurred
Location 106	**109,00**	**14,00**	**14,00**	**932,62**
Location name	**Distance**	**Demand**	**Covered**	**Cost**
Location 106	0,00	1,00	1,00	0,00
Location 27	134,27	1,00	1,00	134,27
Location 5	122,16	1,00	1,00	122,16
Location 55	116,48	1,00	1,00	116,48
Location 45	113,13	1,00	1,00	113,13
Location 60	93,82	1,00	1,00	93,82
Location 69	65,29	1,00	1,00	65,29

Location 70	63,14	1,00	1,00	63,14
Location 98	52,07	1,00	1,00	52,07
Location 29	33,86	1,00	1,00	33,86
Location 58	22,90	1,00	1,00	22,90
Location 53	21,99	1,00	1,00	21,99
Location 18	40,94	1,00	1,00	40,94
Location 1	52,58	1,00	1,00	52,58

Vidíme, že nynější používaný sklad v Úžicích byl zcela nahrazen skladem ve Strančicích. Součet vzdáleností při distribuci po ČR činí 7 218,27 km s množinou dep 104, 105, 106 a 108, jedná o LC v Ostravě, Modřicích, Lovosicích a ve Strančicích. Max. vzdálenost mezi zákazníkem a depem je 153,27 km.

Pro toto rozdělení byla spočítána vzdálenost vztahující se k daným LC, započítáváme dovozní vzdálenosti z Polska a Bulharska (pro sklad ve Strančicích je dovozní vzdálenost z Polska 614,9 km a Bulharska 1 281,61km, další dovozní vzdálenosti uvedeny v předchozím textu) a vzdálenosti distribuční po České republice.

$$d_{LC\ Strančicee} = 4\,082{,}84 + (46 * 614{,}9) + (12 * 1281{,}61) = \ 8\,881{,}26\ km$$

$$d_{LC\ Ostrava} = 678{,}76 + (16 * 275{,}6) + (3 * 1264{,}3) = 3\,956{,}3\ km$$

$$d_{LC\ Modřice} = 1\,524{,}05 + (3 * 441{,}94) + 1106{,}43 = \ 9\,974{,}18\ km$$

$$d_{LC\ Lovosice} = 932{,}62 + (10 * 629{,}61) + (2 * 1\,372{,}73) = 47\,747{,}56\ km$$

V následující tabulce je uveden soupis a porovnání jednotlivých řešení. Oproti předchozímu zlepšení při 4 pevně zvolených dep zlepšuje distribuční vzdálenost o dalších 387,84 km. Pro celkovou vzdálenost se započtením i dovozních vzdáleností zlepšujeme o 418,23 km.

Tab. 16 – Porovnání ujetých km mezi třemi variantami (Zdroj: vlastní zpracování na základě údajů FLP Speadsheet Solver)

	STÁVAJÍCÍ SITUACE			NAVRHOVANÉ SITUACE					
	1 DEPO			4 DEPA PEVNĚ DANÁ			4 ZVOLENÁ DEPA ZE 7		
	Distribuce po ČR [km]	Dovoz z PL [km]	Dovoz z BG [km]	Distribuce po ČR [km]	Dovoz z PL [km]	Dovoz z BG [km]	Distribuce po ČR [km]	Dovoz z PL [km]	Dovoz z BG [km]
LC Úžice	16 678,99	45 194,25	24 017,4	4 440,85	33 142,45	17 345,9	0	0	0
LC Ostrava	0	0	0	678,76	4 134	5 057,2	678,76	4 409,60	3 792,90
LC Modřice	0	0	0	1 647,4	1 325,82	1 106,43	1 524,05	1 325,82	1 106,43
LC Lovosice	0	0	0	839,1	1 259,62	0	932,62	6 296,10	2 745,46
LC Strančice	0	0	0	0	0	0	4 082,84	28 285,40	15 379,32
$\sum km$	16 678,99	45 194,25	24 017,4	7 606,11	39 861,89	23 509,53	7 218,27	40 316,92	23 024,11
$\sum km$	85 890,64			70 977,53			70 559,30		

6.4.2 Iterativní algoritmus

Při použití programu FPL Speadsheet Solver není uvažováno s váhou vrcholů *w(v)*, proto použijeme iterativní algoritmus pro určení vrcholově optimální lokace. Váha vrcholů je počet vyjížděk na určitou prodejnu za měsíc. Vzdálenosti byly vypočítány pomocí programu v Excelu.

Tab. 17 – Váhy vrcholů (Zdroj: reálná data od firmy PST-CLC)

prodejna/ LC	w(v)	14	16	28	3	42	6	56	4	70	2	84	1	98	2
1	3	15	8	29	7	43	4	57	3	71	2	85	3	99	1
2	6	16	4	30	8	44	5	58	4	72	1	86	3	100	1
3	5	17	4	31	2	45	2	59	4	73	7	87	1	101	2
4	55	18	21	32	7	46	3	60	3	74	5	88	3	102	1
5	8	19	6	33	5	47	5	61	4	75	1	89	3	103	0
6	9	20	5	34	6	48	2	62	1	76	3	90	1	104	0
7	20	21	2	35	4	49	6	63	3	77	1	91	1	105	0
8	14	22	4	36	1	50	10	64	4	78	2	92	2	106	0
9	13	23	9	37	3	51	1	65	5	79	4	93	2	107	0
10	14	24	9	38	2	52	21	66	4	80	3	94	5	108	0
11	3	25	1	39	2	53	7	67	2	81	4	95	2	109	0
12	5	26	1	40	4	54	5	68	4	82	6	96	2	pro *w(v)* $\sum 523$	
13	5	27	1	41	3	55	5	69	6	83	3	97	2		

Uvažujeme umístěni 4 dep do 7 vrcholů. V prvním kroku zvolíme množinu dep $D4 = \{v_{103}, v_{104}, v_{105}, v_{106}\}$, pro které jsme si v kapitole 6.1 pomocí programu určili atrakční obvody:

$A'(v_{103})$ = {1, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 30, 32, 34, 35, 38, 39, 40, 43, 44, 47, 49, 50, 52, 54, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 74, 75, 77, 80, 81, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 96, 98, 100, 102}

$A'(v_{104})$ = {4, 6, 8, 15, 20, 28, 36, 37, 42, 46, 48, 68, 76, 79, 84, 95}

$A'(v_{105})$ = {2,19, 25, 26, 31, 33, 41, 51, 56, 57, 61, 71, 73, 78, 82, 83, 85, 89, 93, 97, 99, 101}

$A'(v_{106})$ = {5, 27, 29, 45, 53, 55, 58, 60, 69 70}

Podle kritéria na obsluhu vrcholů sítě spočítáme kriteriální funkci $f(D_4)$ a určíme množinu neprozkoumaných vrcholů *N* a pomocnou proměnnou *z.*

$f(D_4)$= 72 671, $N= \{v_{107}, v_{108}, v_{109}\}, z=0.$

V 1. iteraci volíme z množiny *N* vrchol v_{107}:

$f(v_{103}, v_{104}, v_{105}, v_{107})$ = 67 156,

$f(v_{103}, v_{104}, v_{106}, v_{107})$ = 74 133,

$f(v_{103}, v_{105}, v_{106}, v_{107})$ = 80 556,

$f(v_{104}, v_{105}, v_{106}, v_{107})$ = 77 922.

Při porovnání hodnot kriteriální funkce zjistíme, že $f(v_{103}, v_{104}, v_{105}, v_{107}) = f^*(D_4) < f(D_4)$ a nová dočasně minimální hodnota funkce je 67 156. Proměnná $z=z+1$ a v množině N jsou ještě vrcholy v_{108} a v_{109}. Zvolíme vrchol v_{108} a spočítáme hodnoty funkcí:

$f(v_{103}, v_{104}, v_{105}, v_{108})$ = 69 474,

$f(v_{103}, v_{104}, v_{107}, v_{108})$ = 72 861,

$f(v_{103}, v_{105}, v_{107}, v_{108})$ = 79 843,

$f(v_{104}, v_{105}, v_{107}, v_{108})$ = 70 097.

Ani jedna hodnota funkce není menší než hodnota $f^*(D_4)$. Z N volíme poslední vrchol v_{109} a z je stále rovné 1, protože nedošlo k další změně.

$f(v_{103}, v_{104}, v_{105}, v_{109})$ = 75 194,

$f(v_{103}, v_{104}, v_{107}, v_{109})$ = 68 762,

$f(v_{103}, v_{105}, v_{107}, v_{109})$ = 83 001,

$f(v_{104}, v_{105}, v_{107}, v_{109})$ = 94 487.

Opět nedojde k výměně zvolených vrcholů, kde jsou umístěna depa. $N = \emptyset$ a $z=1$, proto musíme spočítat 2. iteraci. Kde volíme 4 depa s minimální hodnotou funkce z 1. iterace, $N=\{v_{106}, v_{108}, v_{109}\}$ a $z=0$.

Při druhé iteraci získáváme stejná umístění dep jako v první iteraci a již víme, že hodnoty funkcí jsou vyšší než hodnota $f^*(D_4)$. Postupně vyprázdníme množinu N a z je stále rovné 0.

Řešením je tedy umístění dep ve vrcholech v_{103}, v_{104}, v_{105} a v_{107} s minimální hodnotou kriteriální funkce a to 67 156. Dodatečně si uvedeme atrakční obvody pro umístění dep do těchto čtyř vrcholů.

$A'(v_{103})$ = {1, 3, 5, 7, 9, 10, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 29, 30, 34, 35, 44, 45, 47, 49, 50, 52, 53, 55, 58, 59, 62, 63, 66, 67, 69, 70, 72, 75, 77, 81, 87, 90, 91, 98, 100, 102}

$A'(v_{104})$ = {4, 6, 8, 15, 28, 36, 37, 42, 46, 48, 68, 76, 79, 84, 95}

$A'(v_{105})$ = {2,19, 26, 31, 33, 41, 51, 61, 71, 73, 78, 82, 83, 85, 89, 99, 101}

$A'(v_{106})$ = {11, 12, 13, 14, 17, 25, 32, 38, 39, 40, 43, 54, 56, 57, 60, 64, 65, 74, 80, 86, 88, 92, 93, 94, 96, 97}

Jelikož jsme se během iterací nedostali ke kombinaci zvolených dep podle optimálního řešení programu FLP Spreadsheet Solver, ráda bych pro porovnání uvedla hodnotu kriteriální funkce pro umístění skladů ve vrcholech v_{104}, v_{105}, v_{106}, v_{108} se zohledněním vah vrcholů. Hodnota se rovná 74 446.

7. Stanovení optimální výše zásob pro vybraný typ zboží

Jestliže uvažujeme, že zboží je čerpáno nepřetržitě, poptávku známe a je konstantní a dodávky zboží se pravidelně opakují ve stejném množství, tak volíme model EOQ.

Pro použití modelu si nejdříve musíme navolit následující proměnné:

- délka sledovaného období je T= 1 rok,
- celková spotřeba Q se rovná 36 048 paletám za rok,
- fixní náklady pro pořízení jedné objednávky c_1 vypočítáme z hodnoty dle velikosti vozidla a počtu ujetých kilometrů, pro tento druh kamionu uvažujeme 40 Kč/km, tedy počítáme s hodnotou c_1=29 767 Kč,
- náklady spojené se skladováním jednotky množství si volíme dle firemních dat na c_2 = 1 800 Kč/ paleta/ rok

Pomocí vzorce vyjádřeného v kapitole 4.2.3 vypočítáme požadovanou optimální velikost objednávky q_0, tedy

$$q_0 = \sqrt{\frac{2c_1Q}{c_2T}} = \sqrt{\frac{2*29\,767*36\,048}{1\,800*1}} = 1\,093\,palet,$$

kde je vidět velké navýšení oproti stávající velikosti dodávky. Musíme tedy konstatovat, že vzorec v modelu EOQ je použitelný pouze v případě, že optimální velikost dodávky vyjde menší než kapacita vozidla. To v našem případě nevyšlo, takže to nemůžeme použít a musíme upravit vzorec pro výpočet optimální velikosti objednávky, kde zohledníme, že je omezená kapacita vozidla. Pro vyjádření vzorce uvažujeme parametr *k*, počet palet, které se vejdou do jednoho vozidla. V našem případě se *k* rovná 33 paletám. Tedy platí

$$N(q_o) = \frac{Q}{q}\left\lceil\frac{q}{k}\right\rceil c_1 + \frac{c_2Tq}{2}.$$

Stejně jako u modelu EOQ hledáme minimum celkových nákladů v závislosti na velikosti jedné dodávky při zohlednění velikosti vozidla. Pro dodávkovou část nákladů ve vzorci platí, že má minimum v násobcích objemu auta. Jsou tedy stejné roční náklady pro objednávky o velikosti 33 palet, 66 palet, 99 palet atd., pro jiné velikosti objednávek vychází náklady dráž, protože všechny auta nepojedou plná. Skladovací náklady jsou lineární funkcí rostoucí s velikostí dodávky, takže platí, čím menší dodávka, tím nižší náklady na skladování. A jelikož náklady na dodávku převyšují ty skladovací, tak platí, že optimálním řešením je právě maximálně možná velikost dodávky. V našem případě to je stávající hodnota dovážených palet - 33 kusů.

8. Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat využití možných algoritmů k řešení diskrétních úloh na konkrétním příkladu. Jednalo se o použití lokační úlohy, která právě spadá do skupiny algoritmů, kde platí, že z důvodu časové náročnosti je obtížné najít optimální řešení. Pro řešení těchto úloh jsem zvolila heuristickou metodu, která je schopná nalézt řešení v reálném čase, i když řešení nemusí být optimální. A následně jsem se snažila o stanovení optimální výše objednávky pro dovážené zboží.

Pro porovnání výsledků bylo spočítáno optimální umístění dep vzhledem k dané síti obsluhovaných prodejen a dovozních vzdáleností z továren při různě zadaných podmínkách. Cílem bylo především ověřit, jak změna umístění dep ovlivní celkovou délku rozvozových a dovozových tras pro sladké a slané pečivo. Pro výpočty jsem použila program v Excelu FLP Spreadsheet Solver. Díky tomuto programu jsem spočítala veškeré vzdálenosti mezi jednotlivými depy a prodejnami. Následně jsem vytvořila atrakční obvody pro daná depa.

Program používá metodu Tabu search, která patří do metaheuristik. Nejdříve inicializuje počáteční řešení a počet iterací, následně vytvoří okolní řešení a vybere z něj nejlepšího souseda. Dojde k nahrazení dosavadního nejlepšího řešení, tedy upraví paměť tím, že předešlé řešení smaže. Pokračuje podle počtu iterací opakujícím se cyklem. Cyklus pokračuje, dokud není překročen časový limit k hledání.

V první části řešení počítáme se stávající situací, kde jsou veškeré prodejny po České republice obsluhovány z jednoho skladu, a to z logistického centra v Úžicích. Máme zde tedy jen jeden atrakční obvod a celkový součet rozvozových vzdáleností činí 16 679 km. Nejdelší vzdáleností mezi skladem v Úžicích a prodejnou 15 je 409,27 km. Dalším prvkem, který jsme zohledňovali při výpočtu, byl součet dovozních vzdáleností z polské (45 195 km) a bulharské (24 018 km) továrny. Při připočtení těchto vzdáleností se dostaneme na 80 891 km na měsíc.

Jako druhou možnost, kterou uvažuji, jsou čtyři pevně daná depa, bez možnosti volby optimalizace. Zvolenými depy jsou logistická centra v Úžicích, v Ostravě, v Modřicích a v Lovosicích, pro které byly určeny atrakční obvody. Největší část, více než 70 %, obsluhuje po rozdělení sklad v Úžicích, 20 % spadá na logistické centrum v Ostravě a sklady v Modřicích a v Lovosicích obsluhují 6 %, při zohlednění rozváženého počtu palet. Celková vzdálenost pro distribuci po České republice je 7 607 km. V číslech dovozních vzdáleností také klesáme, a to na hodnotu 63 371 km. Sumou těchto čísel získám měsíční hodnotu 70 978 ujetých kilometrů. Nejdelší trasa, kterou by muselo auto při distribuci ujet je rovna 197,84 km. A to mezi skladem v Úžicích a prodejnou 65.

Další navrhovaná situace zohledňuje další tři sklady oproti druhé možnosti. Zjišťuji, zda čtyři předchozí zvolené sklady jsou optimálním řešením ze sedmi možných skladů, kterými firma disponuje. Musím uvažovat, že všechny sklady jsou typu multiuser. Pomocí programu v Excelu vyšlo optimálním řešením zvolení skladů v Ostravě, v Modřicích, v Lovosicích a ve Strančicích. Na sklad ve Strančicích spadá necelých 64 % obsluhy. Ohledně logistických center v Ostravě a v Modřicích jsem na stejných číslech jako u druhého příkladu. U skladu v Lovosicích se poměr na obsluhu navýší o 10 %. Součet vzdáleností při distribuci po České republice činí 7 219 km a pro dovozní vzdálenost se pohybujeme na hodnotě 63 341 km, v souhrnu je to 70 560 km. Maximální vzdálenost mezi zákazníkem a depem je 153,27 km.

Oproti stávající situaci došlo ke zlepšení v obou případech. V druhé možnosti výpočtu snížím celkové distribuční a dovozové vzdálenosti o 13% z hodnoty původní situace, ve třetí optimalizační navrhované situaci ještě o další dvě procenta, než v případě pevně zadaných dep.

Pro výpočet čtyř pevně daných dep bylo vyjádřeno procentuální obsazení plochy ze třiatřiceti procentní části z dováženého zboží, která tvoří neustálou zásobu na skladě. Ve skladu v Modřicích a v Lovosicích je procentuální obsazení nepatrné, pohybujeme se kolem jednoho až dvou procent. Pro logistická centra v Ostravě a v Úžicích mám přibližně 5% obsazenosti skladu. Pro řešení výběru 4 dep ze 7 nebylo procentuální obsazení ploch spočítáno, jelikož není reálným řešením a to z důvodu odlišného typu skladu.

Druhý způsob řešení kromě programu FLP Speadsheet Solver, bylo vypočítání pomocí iterativního algoritmu. Vycházela jsem oproti programu se započtením vah vrcholů, které označují násobnost rozvozu během měsíce. Vycházím z řešení druhé varianty, kde máme určené atrakční obvody. Určila jsem kriteriální funkci prvotního řešení a postupně jsem provedla dvě iterace, kde jsem zjistila, že minimální hodnota kriteriální funkce je 67 156, pro depa ve vrcholech v_{103}, v_{104}, v_{105} a v_{107}.

Pro dvě řešení získaná z programu jsem pro porovnání spočetla také hodnotu kriteriální funkce. Pro čtyři pevně daná depa je hodnota funkce 72 671 a pro čtyři zvolená ze sedmi 74 446.

Cílem teorie zásob, je získání odpovědi na otázku kdy a kolik kusů objednávat, nebo vyrábět, pro získání optimálního poměru skladovacích a ztrátových nákladů. V dnešní době je dbán důraz na celkové snižování zásob a s ním spjaté náklady. Snažíme se o nastavení optimálního množství a nezkracování periody objednávky.

V nákladově orientovaných modelech je tedy hlavním cílem minimalizovat náklady spojené s pořízením zásob, jejich skladováním nebo minimalizovat ztráty, které můžou vzniknout z důvodu nedostatku zboží na skladu.

Pro naši úlohu jsem zvolila deterministicko-dynamický model, jelikož je poptávka pravidelná, jak časově, tak v dováženém množství a existuje možnost pro průběžné doplňování skladu. Pro výpočet přesně volím model EOQ a pomocí vzorce vyjádřím požadovanou optimální velikost objednávky na 1 092 palet. Avšak musím konstatovat, že máme omezenou kapacitu nákladového auta pro 33 palet. Platí tedy, že optimálním řešením je současný dovážený stav.

9. Použité zdroje

[1] Služby: Progressive logistics. *PST-CLC* [online]. [Praha]: PST-CLC, 2012 [cit. 2017-08-24]. Dostupné z: http://www.pst-clc.cz/

[2] Aktuality: Jak se liší WMS pro řízení skladů od běžného ERP modulu pro sklad? *CCV: Informační systémy* [online]. [Praha]: CCV Informační systémy, 2017 [cit. 2017-08-24]. Dostupné z:https://www.ccv.cz/tiskove-centrum/aktuality/jak-se-lisi-wms-pro-rizeni-skladu-od-bezneho-erp-modulu-pro-sklad/

[3] MOCKOVÁ, Denisa. *Základy teorie dopravy: Úlohy*. Praha: ČVUT v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-037-91-1.

[4] PASTOR, Otto a Antonín TUZAR. *Teorie dopravních systémů: Aplikace v dopravě a veřejné správě*. Praha: ASPI Wolters Kluwer ČR, 2007. ISBN 978-80-7357-285-3.

[5] VOLEK, Josef a Bohdan LINDA. *Teorie grafů: Aplikace v dopravě a veřejné správě*. 1. vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-225-9.

[6] JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vydání. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

[7] LENORT, Radim. *Průmyslová logistika* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2017-08-24]. ISBN 978-80-248-2584-7. Dostupné z: http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/PL/Prumyslova%20logistika.pdf

[8] BRÁZDOVÁ, Markéta. *Řešené úlohy lineárního programování*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011. ISBN 978-80-7395-361-4.