VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013 Bc. Anastasiya Fesenko

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY

Název diplomové práce:

Reálné využití metod operačního výzkumu ve spojení s logistickými technologiemi

Autor: **Bc. Anastasiya Fesenko**

Katedra: **Katedra ekonometrie**

Obor: **Ekonometrie a operační výzkum**

Vedoucí práce: **Ing. Martina Kuncová, Ph.D.**

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Reálné využití metod operačního výzkumu ve spojení s logistickými technologiemi“ zpracovala samostatně. Veškerou použitou literaturu a další podkladové materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 13. 5. 2013 .....

Anastasiya Fesenko

Poděkování:

Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Martině Kuncové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady, účinnou pomoc s napsáním a úpravou. Také jsem vděčna své rodině za neustálou podporu a motivaci.

Abstrakt

Název práce: Reálné využití metod operačního výzkumu ve spojení s logistickými technologiemi
Autor: Bc. Anastasiya Fesenko
Katedra: Katedra ekonometrie
Vedoucí práce: Ing. Martina Kuncová, Ph.D.

Tématem této diplomové práce je reálné využití metod operačního výzkumu ve spojení s logistickými technologiemi. Cílem práce je ukázat, jak lze optimalizační a simulační metody aplikovat a dále posoudit, jsou-li tyto metody vhodnými nástroji při uplatnění jednotlivých logistických technologií. Byly rozebrány následující logistické technologie: Just in Time, Kanban, Cross-Docking a Hub and Spoke. Mezi použité matematické nástroje patří: modely smíšeného lineárního programování, distribuční úlohy, metody vícekriteriálního hodnocení variant a simulační modely. Na základě matematických modelů byly vyřešeny čtyři příklady zavedení nových technologií nebo analýzy již fungujících systémů.

Klíčová slova: Just in Time, Kanban, Hub and Spoke, Cross-Docking, simulace, lineární programování

Abstract

Title: The real use of operations research methods in conjunction with logistics technologies
Author: Bc. Anastasiya Fesenko
Department: Department of Econometrics
Supervisor: Ing. Martina Kuncová, Ph.D.

This diploma focuses on the real use of operations research methods in conjunction with logistics technologies. The aim is to show the way of optimization and simulation methods application and to evaluate if these methods are suitable tools for logistics technology application. Following logistic technologies were analysed: Just in Time, Kanban, Cross-Docking and Hub and Spoke. Used mathematical tools include: mixed linear programming models, distribution models, methods of multi-criteria evaluation and simulation models. On the basis of mathematical models 4 examples of new technologies introduction or analysis of already functioning systems have been solved.

Keywords: Just in Time, Kanban, Hub and Spoke, Cross-Docking, simulation, linear programming

Obsah

ÚVOD **3**

1 LOGISTIKA A LOGISTICKÉ TECHNOLOGIE **5**

1.1 ÚVOD DO LOGISTIKY 5
1.2 CÍLE LOGISTIKY 6
1.3 LOGISTICKÉ TECHNOLOGIE 6
1.3.1 Technologie Just in Time 7
1.3.2 Technologie Kanban 10
1.3.3 Technologie Cross-Docking 13
1.3.4 Technologie Hub and Spoke 15

2 OPERAČNÍ VÝZKUM A METODY OPTIMALIZACE **18**

2.1 ÚVOD DO OPERAČNÍHO VÝZKUMU 18
2.2 ÚVOD DO LINEÁRNÍHO PROGRAMOVÁNÍ 19
2.2.1 Distribuční úlohy lineárního programování 20
2.2.2 Úloha o pokrytí 20
2.3 PROGRAM LINGO 22
2.4 ÚVOD DO SIMULACÍ 23
2.4.1 Význam variability a pravděpodobnostní rozdělení 25
2.5 PROGRAM SIMUL8 27
2.6 ÚVOD DO VÍCEKRITERIÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ 29
2.6.1 Vícekriteriální hodnocení variant 30
2.6.2 Metoda ORESTE 31
2.6.3 Metoda TOPSIS 33

3 VYUŽITÍ METOD OV A SIMULACÍ VE SPOJENÍ S LOGISTICKÝMI TECHNOLOGIEMI **34**

3.1 ZAVEDENÍ TECHNOLOGIE JIT 34
3.1.1 Výběr dodavatele 35
3.1.2 Optimalizační model logistického řetězce při systému JIT 44
3.2 ZAVEDENÍ TECHNOLOGIE KANBAN 49
3.3 ZAVEDENÍ TECHNOLOGIE CROSS-DOCKING 54
3.4 ZAVEDENÍ TECHNOLOGIE HUB AND SPOKE 60

ZÁVĚR **67**

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **69**

INTERNETOVÉ ZDROJE 70

SEZNAM OBRÁZKŮ **72**

SEZNAM TABULEK **73**

Úvod

Tématem této diplomové práce je reálné využití metod operačního výzkumu ve spojení s logistickými technologiemi. V současné době je logistika jednou z nejdůležitějších disciplín hospodářství. Pod její uplatnění spadá nejen přeprava zboží, ale i výroba, skladování, konsolidace, balení a dokonce odbyt zboží. Toto téma jsem si vybrala, neboť mě zajímala aplikace metod, kterými se zabýváme při studiu, v logistice. Chtěla jsem prozkoumat, jak mohu znalosti a zkušenosti, které jsem získala při studiu svých oborových předmětů, implementovat z pohledu logistických technologií.

Cílem mé práce je ukázat, jak lze optimalizační a simulační metody aplikovat a dále posoudit, jsou-li tyto metody vhodnými nástroji při uplatnění jednotlivých logistických technologií. Aplikace matematických metod je založena na hypotetických příkladech z důvodu neexistenci reálných dat. Přesto si myslím, že získané výsledky jsou přínosné a užitečné tím, že na jejích základě pak lze řešit skutečný problém.

První část mé práce seznamuje čtenáře s pojmem logistika a logistické technologie. Na začátku jsem rozebrala pojem logistika, uvedla jsem několik její definic, které z mého pohledu jsou nejpřesnější pro tuto práci, a popsala jsem cíle logistiky. Dále následuje seznámení čtenáře s různými typy logistických technologií. Snažila jsem se podrobně rozebrat každou technologií, aby čtenář plně pochopil její podstatu.

Ve druhé části této práce je představena teoretická základna z matematického pohledu. Jsou zde popsány metody a modely, které byly dále aplikovány v praktické části. Začala jsem úvodem do operačního výzkumu a lineárního programování. Podrobněji jsou rozepsány distribuční úlohy, a zejména úloha o pokrytí. Aplikaci této úlohy čtenář bude pozorovat v praktické části práce. Dále následuje informace o simulačních modelech a úvod do vícekriteriálního rozhodování. V praktických příkladech pak budou použity metody ORESTE a TOPSIS, proto jsou zde tyto metody popsány detailněji. Důležitou součástí této kapitoly je popsání programů, pomocí kterých lze výše uvedené metody aplikovat.

Ve třetí části mé práce je podrobně rozebráno několik praktických příkladu zavedení logistických technologií pomocí optimalizačních a simulačních metod. Prvním příkladem je zavedení technologie Just in Time. Příklad se skládá ze dvou částí. První část představuje výběr dodavatelů pomocí metod vícekriteriálního hodnocení variant, druhá část je optimalizačním modelem logistického řetězce při systému JIT. Výpočet byl realizován pomocí programu Lingo 11.0. Druhým příkladem je analýza výroby, která funguje na základě technologie Kanban.

V tomto případě jsem pro vyhodnocení efektivnosti systému využila simulační modely. V třetím příkladu byl také vytvořen simulační model, jehož cílem byla analýza fungování logistického řetězce při uplatnění technologie Cross-Docking. Stejně jako ve druhém příkladu jsem model vytvořila pomocí simulačního software SIMUL8. V posledním příkladu jsem rozebrala hypotetickou situaci zavedení technologie Hub and Spoke. Úloha byla řešena pomocí matematického modelu a výpočet byl proveden v programu Lingo 11.0.

U všech řešených příkladů jsou výsledné hodnoty řešení zpětně převedeny do ekonomického modelu a interpretovány.

1 Logistika a logistické technologie

1.1 Úvod do logistiky

Jak již bylo zmíněno v úvodu, táto práce má za cíl ukázat využití metod operačního výzkumu v logistice a logistických technologiích. Na začátku je proto nutné odpovědět si na otázku „co je to logistika?“.

Logistika je velmi široký pojem, a proto existuje celá řada jejích definic. Rozhodla jsem v této práci uvést takové definice, které považuji za nejpřesnější.

„Logistika je definována jako proces plánování, realizace a řízení účinného, nákladově efektivního toku a skladování surovin, inventáře ve výrobě, hotových výrobků, služeb a souvisejících informací z místa vzniku do místa spotřeby, jehož cílem je uspokojit požadavky zákazníků. Tyto činnosti mohou zahrnovat službu zákazníkovi, předpověď poptávky, distribuci informací, kontrolu zařízení, manipulaci s materiálem, vyřizování objednávek, alokaci pro zásobovací sklad, balení, dopravu, přepravu, skladování a prodej.“ [12]

„Logistika je disciplína, která se zabývá slad’ováním (koordinací, synchronizací a celkovou optimalizací) všech aktivit v rámci samoorganizujících se systémů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu.“ [12]

Podle definici Evropské logistické asociace: „logistika je proces optimalizace, plánování, řízení a výkonu toků zboží vývojem a nákupem počínaje, výrobou a distribucí podle objednávky zákazníka konče tak, aby byly splněny požadavky trhu při minimálních nákladech a minimálních kapitálových výdajích.“ [13]

„Uplatnění logistiky se neomezuje pouze na výrobní sféru. Týká se všech podniků a organizací, včetně takových institucí, jako jsou nemocnice nebo školy, a včetně organizací poskytujících obchodní, bankovní nebo finanční služby.“ [13]

1.2 Cíle logistiky

Logistické cíle [12], [13]:

- musí vycházet z podnikové strategie a napomáhat splňovat celopodnikové cíle,
- musí zabezpečit přání zákazníků na zboží a služby s požadovanou úrovní a to při minimalizaci celkových nákladů.

Z těchto důležitých skutečností lze odvodit dvě základní cíle podnikové logistiky:

- prioritní cíl: uspokojování potřeb zákazníků (zabezpečení požadovaného zboží ve správném množství na správném místě ve správném čase),
- sekundární cíl: minimalizace celkových nákladů (na zásoby, dopravu, skladování, výrobu, řízení apod.).

Splnit tyto cíle lze pomocí celkové optimalizace, koordinace a synchronizace všech aktivit v rámci systému. Vhodné logistické technologie spolu s metodami operačního výzkumu a simulačními metodami jsou nástrojem pro optimalizaci a koordinaci podnikových aktivit.

1.3 Logistické technologie

Na začátku je třeba představit pojem „technologie“. Jak uvádí zdroj [12] technologie lze definovat obecně jako „vědecky odvozený soubor relativně ustálených postupů a metod, jimiž lze efektivně uspořádat dynamické vztahy mezi umělými a lidskými prvky spolupůsobícími v procesech transformace na vstupující prvky tak, aby bylo dosaženo očekávaných výstupů. Transformace může být výrobní nebo nevýrobní, kde její součástí jsou například přemístění a doprovodné, podmiňující procesy.“

Co se týká logistických technologií, jejích cílem je zajištění požadované úrovně logistických služeb s co nejnižšími náklady nebo dosažení maximální úrovně logistických služeb při stanovené výši nákladů. Tento systémově chápaný sled procesů, úkonů a operací uspořádaný do dílčích ustálených procesů lze definovat jako logistické technologie.

V logistické praxi se uplatňuje široká škála takových systémů. Technologie lze rozdělit do několika skupin: klasické, telematické, virtuální a komplexní [12]. Do klasických logistických technologií patří takové postupy jako kombinovaná doprava, tvorba manipulačních skupin, Hub and Spoke, Cross-Docking a centralizace skladů. Tyto technologie jsou aplikovány na technicko-technologické úrovni. Automatická identifikace, radiofrekvenční datová komunikace, elektronická výměna dat a internet tvoří skupinu telematických technologií, které můžou být aplikovány na informační a komunikační úrovni. Mezi virtuální technologie lze uvést simulaci a grafickou vizualizaci. Skupinu komplexních logistických technologií a systémů tvoří Just in Time (JIT), Kanban, Quick Response (QR), Efficient Consumer Response (ECR). Tato práce bude zaměřena hlavně na takovéto technologie a systémy.

1.3.1 Technologie Just in Time

Technologie JIT (angl. „just in time“ – právě včas) byla vyvinuta japonským podnikatelem Taiichi Ohno a poprvé aplikována na výrobním závodě Toyota Motors [33]. Dále byl systém využit i na automobilovém závodě Ford Motor Company. Tento princip byl vysvětlen Henry Fordem v knize „Můj život, moje úspěchy“. Technika byla využívána od počátku 80. let v Japonsku a posléze přenesena i do Evropy [12]. Tato technologie se rozšířila díky společností Toyota, která ji začala používat pro urychlení a optimalizací fungování celého logistického řetězce. Technologii JIT lze chápat spíš jako určitou výrobní filozofii řízení výroby nebo obecný přístup optimalizace celého podniku, než jako konkrétní techniku. Hlavní principy této technologie proto mohou být implementovány kromě výroby i na jiné typy provozních systémů. Lze říci, že JIT je rozšířená technologie Kanban, o které bude pojednáno v následující kapitole.

„JIT spočívá v odstraňování časových ztrát, jejichž odhalování postupuje od výrobního procesu směrem k vnější dopravě, v uspokojování potřeby po určitém materiálu ve výrobě nebo po určitém hotovém výrobku v distribučním článku jeho dodáváním „právě včas“, tj. v přesně dohodnutých a dodržovaných termínech podle potřeby odebírajícího článku. Dodávají se malá množství, v co možná nejpozdějším okamžiku, dodávky jsou velmi časté. Díky tomu mohou na sebe články v logistickém řetězci navazovat s minimální pojistnou zásobou.“ [12] V tomto okamžiku často může vzniknout problém ideálně včasného dodání

materiálu a zboží. V takovém případě se firma stává plně závislá na svém dodavateli, a pokud dojde k zpoždění z jeho strany, dojde zároveň ke zpoždění celého výrobního procesu. „Ideální prostředí pro technologii JIT je tam, kde jsou minimální náklady na změny výstupů, kde je relativně stabilní charakter poptávky a kde odběratel má významné postavení na trhu ve srovnání s dodavateli.“ [12]

Pro úspěšné uplatnění JIT musí být splněny dva základní předpoklady [12]:

- musí dojít k hluboké změně ve vztazích dodavatele k odběrateli. Dodavatel v tomto případě může zvolit buď synchronizační nebo emancipační strategii. Synchronizační strategie přizpůsobení spočívá ve vyrábění a odeslání přesně požadovaného množství v dohodnuté frekvencí. Ušetří se sice náklady na uskladnění dodávek, naproti tomu ale bude výroba menších dávek nákladnější a vzrostou náklady na přepravu dodávek k odběrateli. Emancipační strategie spočívá ve vyrábění několika dávek najednou a odeslání po částech. Nižší výrobní náklady se v tomto případě musí porovnávat s náklady na skladování. Výhodou této strategie je vysoká pohotovost dodávek a pružnost dodavatele. Důležité je upozornit na to, že obě strategie jsou v praxi spojeny s udržováním zásob a nelze tedy technologii JIT jednoznačně prohlásit za bezzásobovou.
- přeprava musí být svěřena kvalitnímu dopravci. Tady je třeba sledovat dva nákladové vztahy: vztah četnosti, pravidelnosti a spolehlivosti přepravy a vztah rychlosti přepravy k nákladům dodavatele. V prvním případě s četností, pravidelností a spolehlivostí rostou náklady na dopravu, ale klesají skladovací náklady, ve druhém případě analogicky platí, že s růstem rychlosti přeprava se stává dražší, avšak klesá objem kapitálu vázaného v zásobách.

Dalšími podmiňujícími faktory jsou vhodně rozložená místa výroby a spotřeby a převaha úspor z omezení či likvidace skladů nad náklady na dopravu.

Technologie JIT má své výhody a nevýhody. Mezi nevýhody lze uvést [12], [13], [19], [33]:

- rostoucí přepravní náklady. Může se stát, že zboží je levnější skladovat, než pravidelně dodávat;
- velká závislost na dodavatelích;
- náročnost na nakládání a vykládání;

- zatížení dopravní infrastruktury a rychlejší vyčerpání silničních kapacit;
- negativní vliv exhalací z výfukových plynů, hluku a nehod způsobený větším počtem silničních vozidel na životy a zdraví občanů i životní prostředí;
- možnost prostojů. Může nastat situace, že k okamžiku dokončení určitého úseku práce potřebný materiál ještě bude na cestě, v tomto případě pracovník bude čekat na materiál a výrobní proces bude přerušen.
- náročná organizace provozu, nutnost velmi kvalitního managementu;
- citlivost na změny v ekonomice. Může se jednat například o rychlý růst cen ropy, který může náhle negativně ovlivnit celý logistický systém.

Samozřejmě technologie JIT má i své kladné stránky, mezi které patří [12], [13], [19], [33]:

- zvýšení produktivity;
- snížení nákladů na skladování výrobních zásob, hotových výrobků;
- úspora výrobních a skladových ploch;
- nízká pravděpodobnost nadvýroby;
- vyšší pružnost změn výrobků;
- zvýšená kontrola kvality výrobků;
- redukce obslužných a nadbytečných procesů;
- rovnoměrnost výrobního rozvrhu;
- snížení množství odpadů.

Na závěr lze shrnout, že technologie JIT přenáší logistickou odpovědnost na dodavatele a vyžaduje spolehlivou dopravu. Vede k masivním efektům, zatěžuje však dopravní infrastrukturu a životní prostředí.

V mezinárodních logistických řetězcích je pro JIT těžko překonatelnou překážkou časová náročnost spedičního a celního odbavení na hranicích Evropské unie a na hranicích mezi nečlenskými zeměmi. Ve východoevropských poměrech je JIT téměř neuplatnitelná kvůli nedostatečně rozvinuté dopravní infrastruktuře a nespolehlivosti dopravců.

1.3.2 Technologie Kanban

Kanban je bezzásobová technologie, která byla poprvé vyvinuta japonskou firmou Toyota Motors a rychle se rozšířila hlavně do výrobních podniků po celém světě. Je také známa pod jménem Toyota Production Systems (TPS). Nejvíce se používá ve strojírenské výrobě a zvláště v automobilovém průmyslu [12].

Kanban je japonské slovo, kde „kan“ označuje „viditelný“ a „ban“ označuje „štítek“. Kanbanem se nazývá výrobní průvodka, kterou se opatřuje prázdný přepravní prostředek pro vizualizaci informace o dodávkách.

Kanban karta může vypadat následovně:

Obrázek 1: Ukázka Kanban karty [20]

Kanban průvodky se rozlišují na výrobní a přepravní. Oba druhy průvodek vydává v minimálním, přesně propočteném množství útvar operativního řízení v souladu s celkovým plánem finální montáže. Průvodky jsou zároveň dispečerským dokladem o průběhu výroby. Nesou tyto údaje: název a číselný (čárový) kód druhu materiálu (dílu), jeho popis (rozměry, hmotnost), identifikační číslo průvodky a název (kód) dodavatele a odběratele. Průvodky i přepravní prostředky bývají odlišeny barvou.

Celý výrobní proces v systému Kanban probíhá následovně [13]:

- odběratel odešle dodavateli prázdný přepravní prostředek s jednou výrobní průvodkou, která plní funkci objednávky;
- dodání prázdného přepravního prostředku s výrobní kartou je podnětem k zahájení výroby příslušné dávky, tj. dodavatel nesmí vyrábět dříve, než výrobní kartu obdrží;

- touto dávkou je přepravní prostředek naplněn, opět označen štítkem a odeslán odběrateli;
- odběratel je povinen došlou dávku převzít a zkontrolovat.

Jak v případě technologie JIT, tak i pro úspěšné uplatnění Kanban musí být splněny některé předpoklady. Mezi takové předpoklady patří [12], [13], [17], [21], [22], [32]:

- výroba funguje na základě „pull principu“ (tažného principu). Více o pull principu se lze dozvědět v [12] a [13];
- objednacím množstvím je obsah jednoho přepravního prostředku nebo jeho násobků;
- kapacity dodavatele a odběratele jsou vyvážené a jejich činnosti jsou synchronní;
- spotřeba materiálu je rovnoměrná bez velkých výkyvů a sortimentních změn;
- dodavatel ani odběratel nevytváří žádné zásoby.

Správně zavedený a vhodně aplikovaný systém Kanban přináší pro podniky značné výhody, mezi které patří:

- snižování nákladů a ztrát;
- zvýšení úrovni kontroly v celém podniku;
- decentralizace a zjednodušení všech podnikových procesů, plynulost provozu;
- zvýšení rychlostí reakce na výkyvy poptávky;
- korekce množství zásob v závislosti na regulárních změnách poptávky;
- snížení množství výrobního materiálu, součástek a hotových výrobků na skladě;
- redukce průběžných zásob;
- vysoká produktivita a efektivnost výroby.

Nejefektivněji lze tuto metodu používat hlavně ve velkosériové výrobě, s ustáleným prodejem, kde je jednosměrný tok materiálu, výrobní operace lze snadno sladit a nedochází k velkým změnám požadavků na finální výrobu. Metodu Kanban je vhodnější aplikovat na podniky s ustálenou poptávkou po výrobcích. V tomto případě lze systém úspěšně používat

v různých podnicích, kde dodavatelé, výrobce a spotřebitele jsou spojeny v jednu (často globální) síť.

V logistické literatuře je uvedeno několik vzorců pro výpočet počtu přepravních prostředků potřebných pro systém Kanban. Šigeo Šingó navrhl následující formulaci [17]:

$$K = (Q + \alpha)/n,$$

kde K … počet přepravných prostředků,

Q … počet kusů produkce v jedné výrobní sérii,

α … minimální pojistná zásoba,

n … počet kusů produkce v jednom přepravním prostředku.

Šigeo Šingó také klade důraz na důležitost trvalého zdokonalování podnikového systému pro snížení počtu použitých přepravních prostředků.

Jasuhiro Monden navrhnul podrobnější variantu výpočtu [17]:

$$k = d(te + tf)(1 + \beta)/c,$$

kde k … počet přepravných prostředků,

d … poptávka na příští období,

te … čas od okamžiku, kdy již je znám konkrétní počet pro výrobu, do okamžiku zahájení výroby,

tf … čas potřebný na výrobu produkce pro jeden přepravní kontejner,

β … koeficient spolehlivosti,

c … objem kontejneru.

Tradiční Kanban je přehledný a má jednoduchou aplikaci. Další výhodou je i to, že tento systém nepotřebuje používat výpočetní techniky. Pro přenos Kanban karet mezi vzdálenými podniky lze využít fax nebo email. Zatímco výkyvy poptávky jsou v předpokládaných mezích, řetězec zůstává stabilní. Ale v případě, že produkční sortiment, změny poptávky a vzdálenost mezi podniky se stávají příliš veliké a vycházejí přes hranice očekávaných, řízení podniku pomocí systému Kanban se stává složité. Pro takovéto případy se v současné době vyvíjejí elektronické systémy Kanban, které mají za cíl zvýšení průhlednosti a efektivnější řízení řetězce. Takovéto technologie jsou spolehlivým a účinným nástrojem pro vizualizaci logistických procesů podniku.

Elektronický Kanban (nebo e-Kanban) je zdokonalená varianta karetního Kanbanu, který je vyvinut na základě současných systémů pro plánování podnikových zdrojů (ERP – angl. Enterprise Resource Planning), systémů elektronické výměny dat (EDI – angl. Electronic Data Interchange) a dalších web technologií. Dokonce i společnost Toyota, která je zakladatelem tradičního systému Kanban, v současné době aplikuje tuto elektronickou technologii na celý svůj logistický řetězec. Tímto způsobem se e-Kanban, který uskutečňuje veškeré transakce a její monitoring v online režimu, stává logickým řešením pro zdokonalování slabých stránek karetního Kanbanu.

Na závěr lze ještě dodat, že technologie Kanban je podmíněna hlubokými změnami v řízení a vysokou odborností pracovníků.

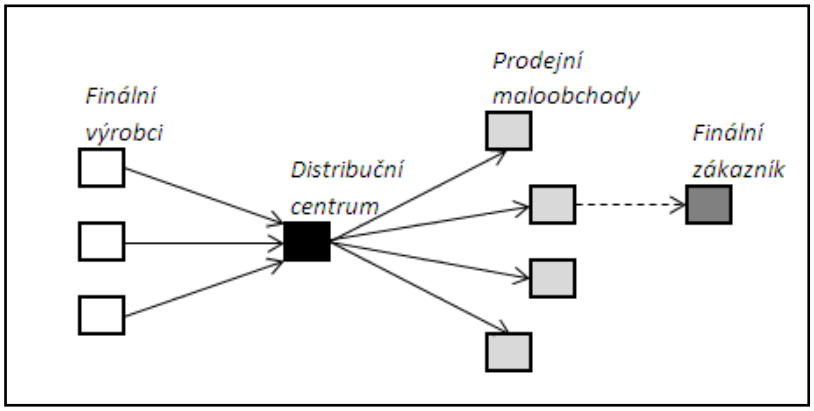
1.3.3 Technologie Cross-Docking

Technologie a systémy, které byly popsány v minulých podkapitolách, jsou zařazeny do skupiny komplexních logistických technologií. V této podkapitole bude rozebrána technologie Cross-Docking, která patří do skupiny klasických logistických technologií.

„Cross-Docking (angl. „cross“ – překročit, přejít, a „dock“ – dok, nákladiště) využívá výhody začlenění distribučního centra jako článku do dodavatelského řetězce mezi větší počet dodavatelů na jedné straně a maloobchodní sítí na druhé straně.“ [13]

Distribuční centrum třídí, kompletuje a expeduje zásilky přímo do jednotlivých prodejen. Velmi důležitá je skutečnost, že zboží se v distribučním centru neskladuje.

Následující obrázek zobrazuje pohyb materiálu v logistickém řetězci při využití technologii Cross-Docking.



Obrázek 2: Schéma materiálového toku v systému s distribučním centrem [13]

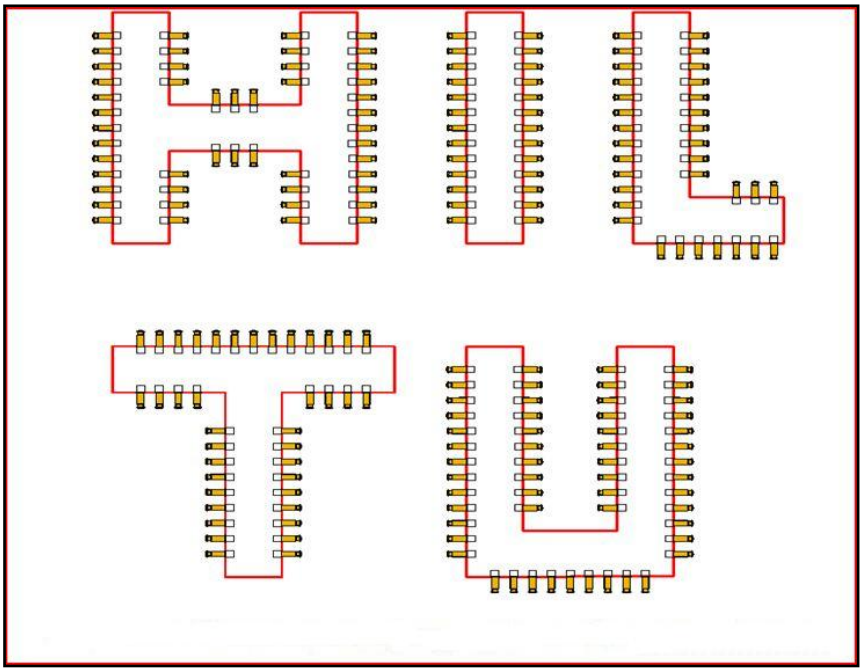
V poslední době Cross-Docking získává větší a větší popularitu. Lze to vysvětlit především tím, že náklady na skladování klesají o 20-30 % v důsledku redukce nebo dokonce absence skladovací plochy. Tato technologie umožňuje snížit dobu dodání zboží koncovým zákazníkům, což je velmi důležité v případě přepravy produkce podléhající rychle zkáze nebo provedení reklamních akcí.

Při všech výhodách Cross-Dockingu je nutné upozornit na podmínky aplikace této logistické technologie. Mezí takové podmínky patří [13], [24], [25], [34]:

- poptávka po zboží musí být dobře předvídatelná;
- je nutné regulárně provádět analýzy poptávky;
- produkce, materiál a zboží vstupující do distribučního centra musí být ihned přepravené ke třídění, kompletaci a rychlé expedici bez nutností dalších úprav;
- je třeba zajistit vynikající řízení pohybu materiálových toků;
- vysoká odbornost pracovníků.

Zařazení distribučního centra do logistického řetězce je třeba provádět s přihlédnutím ke všem součástem systému. Při volbě principu fungování distribučního skladu je nutné vycházet z podmínek minimalizace logistických nákladů. Například existují značné technologické odlišnosti při vytváření projektu tradičního skladu a projektu distribučního centra v případě Cross-Dockingu. Hlavní rozdíl je v tom, že při aplikací Cross-Dockingu je třeba konstruovat sklad s maximální délkou pro umístění velkého počtu vrat. V případě budování tradičního skladu naopak je nutné usilovat o rozsáhlejší skladovací plochu.

Následující obrázek ukazuje možné konfigurace skladů při uplatnění Cross-Dockingu.



Obrázek 3: Možnosti konfigurace skladů [23]

Pro minimalizaci nákladů na organizaci logistického systému je třeba zajistit minimalizaci počtu dopravních prostředků, které uskutečňují dopravu produkce na sklad a ke spotřebiteli. V porovnání s tradičním logistickým systémem, do kterého je zařazen sklad, je nutné se zmínit o tom, že při stejném objemu materiálového toku v případě Cross-Dockingu roste počet využívaných dopravních prostředků. Proto bez ohledu na to, že skladovací náklady klesají, může nastat taková situace, že uplatnění této technologie nebude vést ke snížení celkových logistických nákladů, ale naopak je zvýší.

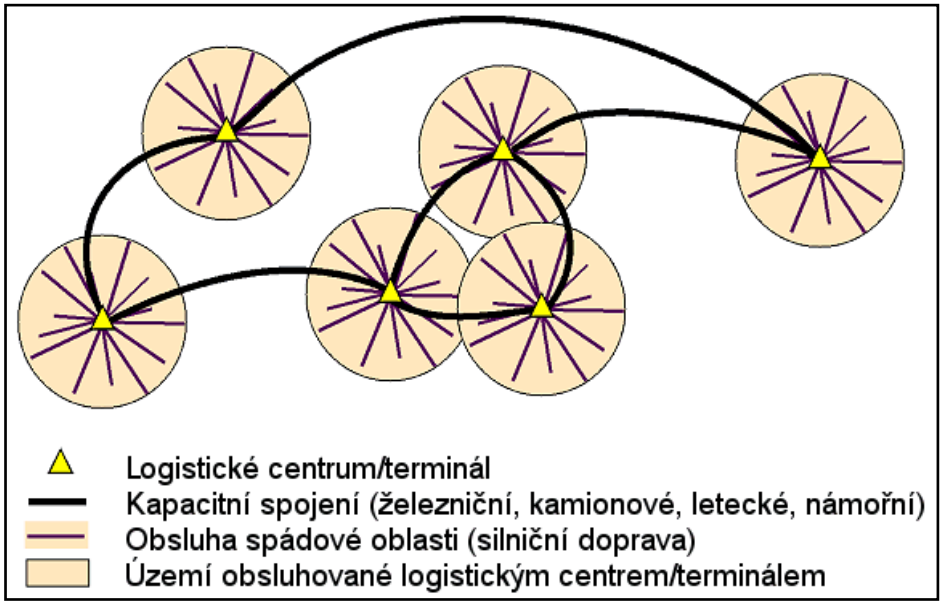
Na závěr je nutné říct, že při aplikaci Cross-Dockingu podnik musí zvážit veškeré výhody a nevýhody již ve fázi projekce celého logistického řetězce s přihlédnutím k charakteru a specifiku konkrétního podniku a budoucí perspektivě vývoje. Mezi firmy, které úspěšně uplatnily tento systém, lze uvést celosvětově známé společnosti Wal-Mart a The Home Depot.

1.3.4 Technologie Hub and Spoke

„Hub and Spoke (angl. „hub“ – uzel a „spoke“ – paprsek) patří do sféry technologií poskytovatelů logistických (přepravných, zasilatelských, expresních a balíkových) služeb a

patří mezi nejčastěji používanou technologii pro logistickou obsluhu území. Spočívá ve sdružování (konsolidaci) menších zásilek do větších celků, které jsou následně přepraveny některým z kapacitních dopravních systémů do oblasti určení, kde jsou rozdruženy (dekonsolidovány). Sdružování a rozdružování zásilek podle směru nebo míst určení se provádí v logistických centrech – hubs - poskytovatelů logistických služeb.“ [12]

Následující obrázek ukazuje princip této logistické technologie.



Obrázek 4: Princip logistické technologie Hub and Spoke [27]

Systém obsluhy území lze rozdělit na dva podsystémy [13]:

- vnější systém, obvykle zabezpečující možnosti přepravy velkých zásilek, dostatečně kapacitní k tomu, aby přepravil veškeré množství zboží v ročních i týdenních špičkách. Dálková přeprava mezi centry je pravidelná železniční, kamionová, vodní i letecká. Často se při ní využívají i kontejnery, protože jejích oddělení od dopravních prostředků umožňuje lepší využití těchto dopravních prostředků. Kontejnery pak mohou sloužit jako dočasné skladovací prostory při konsolidaci a dekonsolidaci zásilek.
- vnitřní systém, kterým je prováděna obsluha vnitřního území přilehlého k logistickému centru. Pružný svoz a rozvoz drobných, ale častějších zásilek jak to logistické systémy většinou vyžadují, uskutečňují na kratší přepravní vzdálenosti menší nákladní automobily.

Tato technologie si v porovnání s JIT poradí s požadavkem na častější, ale menší dodávky zboží ekologičtějším a také levnějším způsobem. Při dobré organizaci, případně i po krátkodobém skladování části zboží v logistických centrech, je možno zásobovat odběratele pravidelně malými dodávkami obdobně jako pomocí technologie JIT.

Jako každá technologie Hub and Spoke také má své výhody a nevýhody. Mezi výhody je možné zahrnout [2], [12], [13], [27]:

- nižší náklady na dopravu,
- odlehčení dopravních komunikací,
- ekologická šetrnost.

Nevýhody této technologie jsou:

- investiční náročnost,
- použitelnost pouze na delší přepravní vzdálenosti.

„Technologie Hub and Spoke umožňuje dobrou dopravní obsluhu odlehlých regionů, podporuje rozvoj malého a středního podnikání v takových regionech, kam by se nevyplatilo jezdit s jednotlivými malými zásilkami. Má dobrý vliv na demografické složení (nedochází k vylidnění) a bývá podporována státní správou.“ [13]

2 Operační výzkum a metody optimalizace

V této části práce je rozebrána teorie, která se týká optimalizaci logistických a podnikových procesů. Této teoretické poznatky jsou potom využity v praktické části této práce. Kromě toho tady jsou popsány programové nástroje, které jsem použila pro řešení aplikačních úloh.

2.1 Úvod do operačního výzkumu

Jako první z optimalizačních nástrojů pro zefektivnění podnikových procesů lze uvést operační výzkum.

„Operační výzkum je možné charakterizovat jako vědní disciplínu nebo spíše soubor relativně samostatných disciplín, které jsou zaměřeny na analýzu různých typů rozhodovacích problémů. Operační výzkum nachází aplikace všude tam, kde se jedná o analýzu a koordinaci provádění operací v rámci nějakého systému.“[6]

„Cílem je přitom stanovit takovou úroveň provádění těchto operací nebo jejích vzájemný vztah tak, aby bylo zajištěno co možná nejlepší fungování celého systému.“ [6]

Základním nástrojem operačního výzkumu je matematické modelování. V této práce jsou použity metody a modely matematického programování.

„Matematické programování je odvětví operačního výzkumu, zabývající se řešením optimalizačních úloh, ve kterých se jedná o nalezení extrému daného kritéria, definovaného ve tvaru kriteriální funkce *n* proměnných, na množině variant určených soustavou omezujících podmínek, které jsou zadány ve tvaru lineárních nebo nelineárních rovnic či nerovnic.“ [6] Pokud kriteriální funkce a omezující podmínky jsou zadány ve formě lineárních rovnic, jedná se o lineární programování.

Řešení konkrétního reálného problému pomocí některého odvětví operačního výzkumu se skládá z několika kroků. [6] Prvním krokem je rozpoznání problému zkoumaného systému. Pak následuje formulace ekonomického modelu daného problému, což je zjednodušeným popisem reálného systému. Ekonomický model obsahuje cíl analýzy, popis procesů, probíhajících v systému, popis činitelů, provádějících procesy, a popis vztahu mezi procesy,

činiteli a cílem analýzy. V dalším kroku je nutné naformulovat matematický model, který obsahuje stejné prvky jako ekonomický model, ale v matematickém vyjádření. Po matematické formulaci následuje řešení modelu. Obvykle se to dělá pomocí programovacích prostředků. Dalším důležitým krokem je interpretace dosažených výsledků a jejích verifikace. Posledním krokem je implementace výsledků v případě jejích úspěšné verifikace.

2.2 Úvod do lineárního programování

Jedním z odvětví operačního výzkumu je lineární programování. „Lineární programování je disciplína operačního výzkumu, která se zabývá řešením rozhodovacích problémů, ve kterých jde o určení intenzit realizace procesů, které probíhají nebo mohou probíhat v daném systému. Je přitom třeba respektovat všechny podmínky, které realizaci těchto procesů ovlivňují, a najít takové řešení, aby byl cíl rozhodování splněn co nejlépe.“ [6]

„Lineární programování je tedy prostředkem pro plánování realizace určitých procesů (činností), který zabezpečuje dosažení optimálního výsledku ve vztahu k definovanému cíli.“ [6] Všechny funkce a podmínky zadané v modelech lineárního programování musí být lineární.

Jak již bylo zmíněno v předcházející podkapitole, formulace modelu se skládá z formulace ekonomického a matematického modelu. Ekonomický model je obvykle formulován slovně. Matematický model je matematickým vyjádřením modelu ekonomického, to znamená, že musí obsahovat stejné prvky: cíl, procesy a činitele:

- cíl analýzy je vyjádřen pomocí lineární funkce $z = f(x)$,
- proměnné představují procesy, probíhající v systému,
- činitele se vyjadřují pomocí lineárních rovnic či nerovnic.

Matematický model úlohy lineárního programování má tvar [8]

maximalizovat (minimalizovat)

$$z = \sum_{i=1}^{n} c_j x_j ,$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq b_i,\ i = 1, 2, \ldots, m,$$

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

c_j … cenový koeficient příslušející j-té proměnné,

b_i … hodnota pravé strany příslušející i-tému vlastnímu omezení,

a_{ij} … strukturní koeficient vyjadřující vztah mezi i-tým činitelem a j-tým procesem.

2.2.1 Distribuční úlohy lineárního programování

„Distribuční úlohy jsou typickými úlohami lineárního programování a tvoří jeho významnou skupinu. Tyto úlohy jsou sice úlohami lineárního programování, mají však poněkud speciální charakter, což se projevuje ve formulaci jejich matematického modelu i při jejich řešení.” [8]

Do skupiny distribučních úloh patří dopravní problém, kontejnerový dopravní problém, obecný distribuční problém, přiřazovací problém, okružní dopravní a alokační problém. Úloha optimálního rozmístění zařízení, která jinak se nazývá úlohou o pokrytí, je také distribuční úlohou. Této úloze je věnována vyšší pozornost, protože na bázi jejího modelu bude řešen jeden z příkladů v aplikační části této práce. O této úloze bude podrobněji pojednáno dále.

2.2.2 Úloha o pokrytí

Úloha o pokrytí pro modelování využívá bivalentních proměnných, tzn. proměnných, které mohou nabývat pouze dvou hodnot – nula a jedna. Cílem této úlohy je rozhodnout o výstavbě K obslužných stanic, které mohou být umístěny v místech M_1, M_2,…, M_m, kde $m > K$. Příkladem obslužných stanic mohou být sklady, stanice rychle pomocí, požární stanice, centra pro zpracování zásilek apod. Kromě toho je v této úloze definováno n obvodů (odběratelů, míst, lokalit apod.) O_1, O_2, …, O_n. Každý z těchto obvodů musí být přiřazen právě jedné zřízené stanici, ze které bude obsluhován. [8] Cílem je najít takové rozmístění obslužných stanic, aby součet celkových nákladů na obsluhu ve všech obvodech a provozních nákladů zřízených stanic byl minimální.

Matematický model této úlohy má tvar [7]

minimalizovat

$$z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} f_j + \sum_{i=1}^{m} p_i y_i$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq (n - K + 1) y_i, \; i = 1, 2, \ldots, m,$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \; j = 1, 2, \ldots, n,$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = K \; ,$$

$$x_{ij} = 0(1), \; i = 1, 2, \ldots, m, \; j = 1, 2, \ldots, n,$$

$$y_i = 0(1), \; i = 1, 2, \ldots, m,$$

y_i … bivalentní proměnná, která nabývá hodnotu 1 v případě, že stanice bude zřízena v místě M_i, v opačném případě bude nabývat hodnotu 0,

x_{ij} … bivalentní proměnná, která znamená vybrání nebo zamítnutí obvodu O_j stanicí zřízenou v místě M_i,

f_j … četnost obsluhy v obvodě O_j,

p_i … náklady na provoz obslužné stanice v místě M_i,

c_{ij} … náklady jedné obsluhy v obvodě O_j ze stanice zřízené v místě M_i.

Účelová funkce minimalizuje sumu nákladů na obsluhu ve všech obvodech a nákladů zřízených stanic v jednotlivých místech. Pokud není třeba počítat s provozními náklady jednotlivých stanic, druhá část účelové funkce se neuvažuje, tzn. $p_i = 0$. První omezení odpovídá za maximální počet obvodů, které mohou patřit k jedné obslužné stanici, tzn., že součet v řádcích je roven nule v případě, že stanice v místě M_i není zřízena, a je roven číslu $(n - K + 1)$ v případě, že stanice zřízena je. Druhé omezení zaručuje to, že každý obvod může být obsluhován právě jednou obslužní stanicí, tzn., že součet ve sloupcích se musí rovnat jedné. Další omezení odpovídá za počet stanic, které musí být zřízeny. Další výrazy ukazují bivalentnost proměnných x_{ij} a y_i.

2.3 Program Lingo

Úlohy, které jsou naformulovány pomocí matematických modelů, se obvykle řeší pomocí modelovacích systémů. Proto bych v této podkapitole chtěla seznámit čtenáře s jedním z takových optimalizačních nástrojů.

V současné době je na softwarovém trhu k dispozici množství kvalitních profesionálních optimalizačních systémů, které umožňují řešit lineární, případně i nelineární úlohy. Použití těchto systémů předpokládá, že má uživatel vytvořený optimalizační model, jehož řešení hledá, a má přepravené vstupní údaje ve formátu, které jednotlivé systémy podporují [7]. Taková příprava je pro uživatele často velmi obtížná. Proto pro usnadnění procesu modelování a uživatelské přiblížení modelovací fáze byly vyvinuty systémy na podporu modelování nebo jinak řečeno modelovací jazyky. Takové systémy na podporu modelování se dělí do dvou skupin. První je skupina systémů, které neobsahují své vlastní optimalizační řešitele, ale pro optimalizační fázi využívají nabídku řešitelů specializovaných na řešení určitých typů úloh. Druhá skupina systémů naopak obsahuje vlastní řešitele a dále se klasifikuje na otevřené a uzavřené systémy. V případě otevřených systémů uživatel může využívat všechny řešitele, které má u sebe k dispozici. Uzavřený systém povoluje pracovat jen s tím řešitelem, který je s tím modelovacím systémem dodáván.

Systémy na podporu modelování v současné době nabízí uživateli široké možnosti práce s modelem. Například umožňují vytvářet rozsáhlé aplikace, které mohou spolupracovat s externími aplikacemi, načítat či předávat data z databází, tabulkových kalkulátorů, vytvářet grafické reporty apod.

Aplikační úlohy, které jsou rozebrány v praktické části této práce, budou řešeny v optimalizačním softwaru Lingo.

„Lingo představuje nástroj pro řešení lineárních a nelineárních optimalizačních úloh a pro řešení soustavy lineárních a nelineárních rovnic. Tento systém patří mezi uzavřené, tzn. je dodáván s univerzálním řešitelem, vyvinutým firmou Lindo Systems.“ [7] Jednou z hlavních charakteristik systému Lingo je skutečnost, že obsahuje speciální jazyk pro matematické modelování. Lingo umožňuje uživateli zapsat model pomocí tohoto jazyka – zápis je dost blízký běžnému matematickému zápisu modelu. Takový obecný model stačí potom spojit s připraveným datovým souborem, nejčastěji pro takové účely je používán program MS Excel. Výsledky řešení matematické úlohy pro názornost pak mohou být také exportovány do

MS Excelu. Nevýhodou Lingo jsou horší vlastnosti optimalizačního řešitele. Studentská verze, kterou lze stáhnout na stránkách Lindo Systems (lindo.com), povoluje řešení modelů pouze o určitých rozměrech. Ale plná verze, kterou lze koupit pro komerční využití, umožňuje modelování bez jakýchkoliv omezení na rozsah úlohy.

Zápis v modelovacím jazyce Lingo má obecně následující strukturu:

MODEL:
SETS:
Definice množin, jejich prvků a atributů
ENDSETS
Obecný zápis modelu pomocí modelovacího jazyka
DATA:
Specifikace vstupních dat
ENDDATA
INIT:
Nastavení počátečních hodnot proměnných
ENDINIT
END

2.4 Úvod do simulací

Dalším nástrojem pro analýzu a zefektivnění podnikových procesů je simulace. V následující kapitole je popsáno co je to simulace, kde ji lze využit a z čeho se skládá proces vytvoření simulačního modelu.

„Simulace je moderní metoda analýzy složitých podnikových procesů, které obsahují prvky náhodného a dynamického chování. Simulace je v podstatě jedinou dostupnou metodou, jak takové složité systémy studovat, neboť analytické postupy nejsou pro rozsáhlejší úlohy použitelné.“ [1]

„Simulace je metodou, která pomocí počítačového modelu podnikového procesu umožňuje manažerům předvídat chování systému při změně vnitřních či vnějších podmínek, optimalizovat podnikové procesy vzhledem k zadaným kritériím (zisk, náklady, spolehlivost), porovnat mezi sebou navrhované alternativy organizace studovaného procesu. Značnou výhodou simulace je fakt, že vše se děje jen v počítačovém modelu, bez nutného zásahu do

provozu podniku.“ [1] Jinými slovy lze říct, že základní myšlenkou simulaci je napodobení reálného podnikového procesu pomocí počítače a následné pozorování důsledků možných změn. V tomto případě nejde o přesný výsledek, jak je to například v matematickém modelu. Výsledkem simulačního modelu je odhad.

Simulace může být aplikována v mnoha různých oborech a disciplínách. Například samozřejmě kromě ekonomických a podnikových procesů lze simulační metody využít v biologii, medicíně, chemii, technických vědách, ve vojenství apod. V podniku lze simulační modely aplikovat na široké spektrum problémů a úloh. Může to být optimalizace výrobních systémů, analýza logistických procesů v podniku i v prostředí supplychain, optimalizace pravidel skladování, řízení zásobovacích procesů a vnitropodnikových dopravních systémů, rozvrhování výroby, optimalizace obslužných systémů, finanční plánování a řízení rizik. Jelikož cílem této práce je aplikace optimalizačních metod ve spojení s logistickými technologiemi, v praktické části bude ukázáno, jak lze simulace využit v logistice.

Jak v případě aplikace matematických metod, tak i v případě využití simulací řešení konkrétního reálného problému se skládá z několika kroků. [1] Prvním krokem je rozpoznání problému a stanovení cílů. V této fázi obvykle se koná schůzka klienta s řešitelským týmem, na které lze vymezit konkrétní problém, kterým podnik trpí. Ve druhém kroku se vytváří konceptuální model, což je základní představa o modelovaném systému. Třetím krokem je sběr dat. Pokud potřebná data nejsou k dispozici, což se stává dost často, lze vytvořit model i bez dat. Ale v tomto případě je třeba disponovat rozumnými předpoklady o charakteru modelovaných procesů. Ve čtvrtém kroku následuje samotná tvorba simulačního modelu. Pro vytvoření takového modelu se obvykle využijí speciální simulační programy. Dále následuje verifikace a validace modelu. Provedení experimentů a analýza výsledků je dalším krokem řešení. V tomto kroku provedená práce již začíná přinášet výsledky. V tomto okamžiku zbývá už jen správně popsat strukturu modelu, tzn. vytvořit dokumentaci, a dále implementovat projekt do praxe.

Jak matematické modely, tak i simulační modely mají svou klasifikaci. V závislosti na způsobu zachycení času lze simulační modely rozdělit na modely se spojitým časem, kdy čas může nabývat jakýchkoliv hodnot, a modely s diskrétním časem, kdy čas může nabývat hodnot jen z předem uvedené diskrétní množiny. Také simulační modely se dělí podle charakteru množiny hodnot stavových veličin na modely se spojitými nebo diskrétními změnami stavu. V této práce půjde řeč o simulaci diskrétních událostí. V tomto případě se

uvažuje spojitost času, ale „změna stavu modelu nastává nikoliv průběžně, ale pouze v okamžiku výskytu z hlediska modelu významné události.“ [1]

2.4.1 Význam variability a pravděpodobnostní rozdělení

Procesy probíhající v podniku nejsou obvykle deterministické, obsahují různé prvky variability, nejčastěji jde o rozdílnou délku jejich trvání. [1]

Pro zachycení náhody a popsání vlastností podnikových procesů se obvykle pracuje s pravděpodobnostními rozděleními. Rozdělení se děli na spojitá a diskrétní. V aplikační části této práce budou využity spojitá rozdělení následujících typů:

- exponenciální,
- rovnoměrné,
- normální,
- trojúhelníkové.

Proto tyto rozdělení jsou podrobněji popsány dále.

„Exponenciální rozdělení je zřejmě nejčastěji používaným rozdělením v simulaci. Typické je jeho využití pro generování intervalů mezi po sobě následujícími příchody požadavků, délky trvání činností nebo simulaci výskytu poruch.“ [1] Jediným parametrem exponenciálního rozdělení je parametr λ, který označuje intenzitu příhodu požadavků do systému, tj. počet příchodů za jednotku času. Zlomek 1/λ je interval mezi po sobě následujícími příchody.

Hustota pravděpodobnosti [1]:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \text{ pro } x > 0, \lambda > 0,$$

$$f(x) = 0 \quad \text{jinak.}$$

Distribuční funkce:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \qquad \text{pro } x > 0,$$

$$F(x) = 0 \qquad \text{jinak.}$$

Střední hodnota:

$$E(x) = 1/\lambda.$$

Rozptyl:

$$D(x) = 1/\lambda^2.$$

Rovnoměrné rozdělení je základem pro generování náhodných veličin. Toto rozdělení lze považovat za rozdělení s minimální informací, doporučuje se pro účely, kdy nejsou k dispozici potřebná data. Rovnoměrné rozdělení má dva parametry: minimální hodnotu (dolní odhad) a a maximální hodnotu (horní odhad) b.

Hustota pravděpodobnosti [1]:

$$f(x) = 1/(b-a) \qquad \text{pro } x \in (a, b),$$

$$f(x) = 0 \qquad \text{jinak.}$$

Distribuční funkce:

$$F(x) = 0 \qquad \text{pro } x \leq a,$$

$$F(x) = (x-a)/(b-a) \qquad \text{pro } x \in (a, b),$$

$$F(x) = 1 \qquad \text{pro } x \geq b.$$

Střední hodnota:

$$E(x) = (a+b)/2.$$

Rozptyl:

$$D(x) = (b-a)^2/12.$$

„Normální rozdělení se často používá pro zachycení chyby při fyzikálních měřeních a ekonomických pozorováních. Normální rozdělení může být též použito pro generování dob trvání činností, je však třeba volit střední hodnotu a rozptyl tak, aby byla minimalizována možnost vygenerování záporné hodnoty.“ [1] Toto rozdělení je definováno dvěma parametry: střední hodnotou μ a rozptylem σ^2.

Hustota pravděpodobnosti [1]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \qquad \text{pro } -\infty < x < \infty.$$

Střední hodnota:

$$E(x) = \mu.$$

Rozptyl:

$$D(x) = \sigma^2.$$

Trojúhelníkové rozdělení je dobrou volbou v případě, že nejsou k dispozici konkrétní reálné údaje, ale je známo, že nejčastěji veličina nabývá hodnoty b, minimálně hodnoty a a maximálně hodnoty c. To znamená, že parametry trojúhelníkového rozdělení *Tri* jsou tři hodnoty, pro které platí $a < b < c$.

Hustota pravděpodobnosti [1]:

$$f(x) = 2(x-a)/[(b-a)(c-a)] \quad \text{pro } a \leq x \leq b,$$

$$f(x) = 2(c-x)/[(c-a)(c-b)] \quad \text{pro } b \leq x \leq c,$$

$$f(x) = 0 \quad \text{jinak.}$$

Distribuční funkce:

$$F(x) = 0 \quad \text{pro } x < a,$$

$$F(x) = (x-a)^2/((b-a)(c-a)) \quad \text{pro } a \leq x \leq b,$$

$$F(x) = 1 - (c-x)^2/((c-a)(c-b)) \quad \text{pro } b \leq x \leq c,$$

$$F(x) = 1 \quad \text{pro } x > c.$$

Střední hodnota:

$$E(x) = (a+b+c)/3.$$

Rozptyl:

$$D(x) = (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc)/18.$$

2.5 Program SIMUL8

V úvodu do simulací jsem zmínila, že řešení konkrétního příkladu se skládá z několika kroků. Jedním z nejpodstatnějších kroků je zadání konceptuálního modelu do simulačního programu, ve kterém bude probíhat proces simulací. V této podkapitole seznámím čtenáře s programem SIMUL8, jehož pomocí lze tento proces realizovat.

V dnešní době existuje cela řada prostředků pro simulační modelování. Mezi ně patří:

- obecné programovací jazyky, jejichž vlastnosti umožňují vytvářet simulační model jen výjimečně z důvodu složitosti programování;
- simulační programovací jazyky, které umožňují uživatelům snadno a rychle vytvářet simulační modely;
- ostatní jazyky a programy, které lze využit v případě modelování aplikací typu Monte Carlo.

Simulační programovací jazyky se dělí na jazyky pro spojitou, diskrétní a kombinovanou simulaci. Jak již bylo zmíněno, praktická část bude zaměřena na simulaci diskrétních událostí. Z tohoto důvodu úlohy této práce budou řešeny v simulačním programu SIMUL8, který je produktem pro diskrétní simulaci.

„SIMUL8, který je produktem stejnojmenné firmy SIMUL8 Corporation, je určen především pro modelování podnikových procesů.“ [1]

Program umožňuje vytvořit vizuální model zkoumaného systému a nabízí uživateli animaci běhu modelu. Výhodou tohoto programu je poměrná snadnost ovládání a přehlednost vytvořeného modelu. Výsledný model může být prezentován zákazníkovi a je v tomto případě chápán jako nástroj vzájemné komunikace. [1]

Při tvorbě modelu se pracuje s určitými modelovými prvky či objekty:

- Work Item (pracovní položka, entita) – prvek, který si představuje dynamický objekt procházející systémem. Příkladem takových objektů mohou být zákaznici, výrobky, informace apod.
- Work Entry Point (vstup) – statický objekt, který stanovuje vstup entit do systému.
- Work Center (pracoviště, aktivita, činnost) – objekt modelující aktivitu entit. Pro realizaci určité aktivity jsou potřebné různé zdroje. Příkladem aktivity může být výroba, obsloužení zákazníka, nakládka, vykládka, konsolidace, dekonsolidace apod.
- Storage Bin (zásobník, fronta) – objekt, ve kterém se obvykle entity zdržují. Ve skutečnosti to může být čekání klientů v lékařské ordinaci, fronta na odbavení kamionů, zásoby zboží ve skladu apod.
- Work Exit Point (výstup) – statický objekt, který stanovuje výstup entit ze systému.

- Resource (zdroj) – objekt, pomocí kterého může být vykonána činnost. Zdroje slouží k modelování omezených kapacit pracovníků, výrobků, materiálů.
- Route (cesta) – objekt propojující jednotlivé objekty v modelu.

Podrobnější informace o tvorbě modelu v SIMUL8 čtenář může najít ve zdroji [1] a na stránkách [31].

Na závěr této podkapitoly bych chtěla zmínit o tom, že program SIMUL8 nabízí poměrně slušný soubor výsledných charakteristik zkoumaného systému. Výsledky mohou být umístěny v tabulkách nebo znázorněny pomocí různých typů grafů. Výsledné ukazatele v takové formě lze vhodně prezentovat manažerům analyzovaného podniku.

2.6 Úvod do vícekriteriálního rozhodování

Často se v praxi stává situace, kdy ředitel či manažer má problém při výběru technologií, dodavatele, partnera, způsobu přepravy, nového zaměstnance apod. V tomto případě rozhodující subjekt porovnává varianty podle více hodnoticích kritérií. Zahrnutí všech kritérií maximálně přibližuje model realitě, což dává větší naději na implementaci nalezeného rozhodnutí. Spolu s tím vzniká větší složitost ve formulaci a řešení úloh. Takovými modely se zabývá disciplína vícekriteriálního rozhodování, o kterém bude podrobněji pojednáno dále.

„Vícekriteriální rozhodovací problémy jsou popsány množinou variant, množinou hodnoticích kritérií a řadou vazeb mezi kritérii a variantami.“ [4] Pomocí těchto množin lze naformulovat vícekriteriální model. Součástí tohoto modelu mohou taky být dodatečné informace, které odráží subjektivní preference rozhodovatele. Informace se mohou týkat buď preferencí mezi variantami z hlediska jednotlivých kritérií, nebo preferencí mezi kritérii a jejich agregace.

Vícekriteriální modely se dělí na modely vícekriteriálního hodnocení variant (diskrétní modely) a modely vícekriteriálního programování (spojité modely). V praktických příkladech této práce budou aplikovány diskrétní modely, proto budou zde popsány podrobněji.

„U diskrétních modelů je množina variant popsána explicitně seznamem variant, které jsou vyjádřeny ohodnocením podle jednotlivých kritérií, což vyjadřuje obsah informace. Informace však mohou mít různou formu. Cílem může být nalezení množiny „dobrých“

variant, nalezení varianty, která by podle všech kritérií dosáhla co nejlepšího ohodnocení, nebo uspořádání všech variant.“ [4]

Dodatečná informace o preferencích rozhodovatele může být vyjádřena třemi různými způsoby. Prvním způsobem je stanovení hodnot požadovaných pro akceptování rozhodnutí. Tyto hodnoty se nazývají aspirační úrovně. Druhým způsobem je stanovení pořadí důležitosti kritérií. Takto vyjádřená preferenční informace má ordinální formu. Třetí forma dodatečné informace je kardinální, kdy rozhodovatele musí určit váhy jednotlivých kritérií. V závislosti na formě preferenční informace existují různé metody řešení vícekriteriálních problémů. Metody, které budou aplikovány v praktické části, jsou podrobněji popsány dále.

2.6.1 Vícekriteriální hodnocení variant

U modelů vícekriteriálního hodnocení variant je úloha zadána explicitně seznamem variant $A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ a seznamem kritérií $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ a hodnocením variant podle jednotlivých kritérií ve tvaru tzv. kriteriální matice [4]:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11}, & y_{12}, \dots, & y_{1k} \\ y_{21}, & y_{22}, \dots, & y_{2k} \\ y_{p1}, & y_{p2}, \dots, & y_{pk} \end{bmatrix}.$$

„Prvky kriteriální matice y_{ij}, $i = 1, 2, \dots, p$, $j = 1, 2, \dots, k$, vyjadřují informace o hodnocení variant podle jednotlivých kritérií. Cílem je najít variantu, která by podle všech kritérií dosáhla co nejlepšího ohodnocení.“ [4] Budeme předpokládat, že všechna kritéria jsou maximalizační. Pokud ve skutečnosti to tak není, lze snadno převést kritéria minimalizačního typu na maximalizační.

Pro řešení vícekriteriálních úloh jsou důležité následující definice [4]:

- Nedominovaná varianta je taková, ke které neexistuje v množině variant jiná varianta, lépe hodnocená alespoň podle jednoho kritéria a ne hůře podle ostatních kritérií.
- Ideální varianta je hypotetická nebo reálně existující varianta, která dosahuje ve všech kritériích logicky nejlepší možné hodnoty. Taková varianta se označuje jako $H = (H_1, H_2, \dots, H_k)$.

- Bazální varianta je protějškem ideální varianty a má všechny hodnoty na nejnižším stupni. Taková varianta se označuje jako $D = (D_1, D_2, \dots, D_k)$.

Pro výpočet je důležitá srovnatelnost jednotek, ve kterých je vyjádřeno hodnocení jednotlivých variant. Pro normalizaci hodnot lze použít následující vztah [4]:

$$u_{ij} = (y_{ij} - D_j)/(H_j - D_j),$$

kde normalizované hodnoty $u_{ij} \in \langle 0,1 \rangle$.

V následujících kapitolách jsou popsány metody řešení vícekriteriálních úloh, které budou aplikovány v aplikační části práce. Rozhodla jsem se zaměřit na metody s ordinální a kardinální informací. Pro řešení příkladu vybrala jsem dvě metody, které z mého pohledu jsou vhodné a nejsou velmi náročné na výpočet.

2.6.2 Metoda ORESTE

Metoda ORESTE je metodou s ordinální informací, tzn., že vyžaduje od rozhodovatele jen uspořádání kritérií podle důležitosti.

Postup této metody lze rozdělit do dvou částí. V první části je třeba určit vzdálenost každé varianty podle každého kritéria od fiktivního počátku. Potom následuje uspořádání variant. Ve druhé části lze provést preferenční analýzu, kdy se zjišťuje vztahy mezi jednotlivými variantami. Typy takových vztahů jsou: preference P, indiference I a nesrovnatelnost N.

Podrobněji lze postup popsat následovně [4]:

V prvním kroku je třeba určit uspořádání důležitosti kritérií pomocí vektoru

$$q = (q_1, q_2, \dots, q_k)$$

pořadových čísel a uspořádání variant podle jednotlivých kritérií pomocí matice

$$P = (p_{ij}),\ i = 1,2, \dots, p,\ \ j = 1,2, \dots, k.$$

Ve druhém kroku je třeba vypočítat matice vzdáleností od fiktivního počátku

$$D = (d_{ij}),\ i = 1,2, \dots, p,\ \ j = 1,2, \dots, k,$$

$$d_{ij} = \left(\frac{1}{2}(p_{ij})^r + \frac{1}{2}(q_j)^s\right)^{1/r},$$

kde r je reálné číslo. Obvykle se používá hodnota $r = 3$.

Ve třetím kroku se konstruuje matice $R = (r_{ij})$, kde r_{ij} jsou pořadová čísla, kterými jsou ohodnoceny vzdálenosti d_{ij}. Potom je nutné spočítat řádkové součty

$$r_i = \sum_{j=1}^{k} r_{ij} \quad i = 1,2,\dots,p.$$

Podle hodnot součtů již lze stanovit uspořádání variant.

Dále přecházíme ke druhé části metody – preferenční analýze. Na základě hodnot r_{ij} je třeba spočítat hodnoty preferenčních intenzit

$$c_{ij} = \sum_{h \in K} (r_{jh} - r_{ih}) \; i,j = 1,2,\dots,p.$$

Dále musíme je normalizovat

$$c_{ij}^n = \frac{c_{ij}}{c^{max}} \; i,j = 1,2,\dots,p,$$

kde c^{max} je maximální hodnota, kterou může dosáhnout preferenční intenzita.

Podle hodnot c_{ij}^n lze stanovit vztahy mezi variantami. Tady rozhodovatel musí zadat prahy α, β, γ.

Pokud platí

$$c_{ij}^n \leq \alpha \text{ a } c_{ij}^n - c_{ji}^n \leq \beta,$$

znamená to, že varianty a_i a a_j jsou navzájem indiferentní. Pokud to tak není, je třeba přejít na další krok, kterým je test nesrovnatelnosti.

Pokud platí

$$\frac{c_{ij}^n}{c_{ij}^n - c_{ji}^n} \geq \gamma,$$

znamená to, že varianty a_i a a_j jsou nesrovnatelné. V opačném případě varianta a_i preferuje variantu a_j.

Nevýhodou této metody je to, že kromě informace o pořadí důležitosti kritérií rozhodovatel ještě musí stanovit prahy α, β, γ.

2.6.3 Metoda TOPSIS

Metoda TOPSIS je metodou, která vyžaduje k vícekriteriálnímu vyhodnocení znalost vah kritérií. Metoda je založena na principu minimalizace vzdálenosti od ideální varianty. To znamená, že za nejlepší je považována varianta, která je podle určité metriky nejblíže k ideální variantě, označující vektorem $(H_1, H_2, \dots, H_k)$. Bazální varianta je označována vektorem $(D_1, D_2, \dots, D_k)$.

Postup se skládá z několika kroků [4]:

V prvním kroku je třeba spočítat normalizovanou kriteriální matice $R = (r_{ij})$, kde

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^{p} (y_{ij})^2\right)^{1/2}}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Druhým krokem je výpočet matice $W = (w_{ij})$, kde

$$w_{ij} = v_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Třetím krokem je určení vektorů hodnot ideální a bazální variant

$$H_j = \max_i w_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, k,$$

$$D_j = \min_i w_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Dále je nutné spočítat vzdálenosti variant od ideální varianty

$$d_i^+ = \left(\sum_{j=1}^{k} (w_{ij} - H_j)^2\right)^{1/2}, \quad i = 1,2, \dots, p,$$

$$d_i^- = \left(\sum_{j=1}^{k} (w_{ij} - D_j)^2\right)^{1/2}, \quad i = 1,2, \dots, p.$$

Posledním krokem je výpočet relativního ukazatele vzdáleností variant od bazální varianty

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1,2, \dots, p.$$

Pro získání úplného uspořádání variant je třeba sestupně uspořádat varianty podle hodnot ukazatele c_i.

3 Využití metod OV a simulací ve spojení s logistickými technologiemi

Ve třetí části své práce se pokusím ukázat, jak lze optimalizační a simulační metody aplikovat při implementaci různých logistických technologií.

Pro zavedení technologie JIT jsem vybrala kombinaci optimalizačního modelu smíšeného lineárního programování a metod vícekriteriálního rozhodování. Tyto metody i modely jsou z mého pohledu vhodné v případě zavedení JIT. Dalšími modely, které lze využit pro případ JIT, mohou být například simulační modely.

Pro zefektivnění již fungujícího systému s použitím technologie Kanban jsem využila simulací. Pro zavedení technologie Cross-Docking byl také formulován simulační model. Simulace je vhodná proto, že umožňuje analyzovat proces pomocí počítačového modelu a předvídat chování systému při různých změnách. V případě Cross-Dockingu jedním z dalších matematických metod může být například optimalizační model.

V případě zavedení technologie Hub and Spoke za nejvhodnější považuji využití modelu lineárního programování, konkrétně úlohy o pokrytí.

Při psaní práce jsem narazila na problém nedostupnosti dat, proto jsou rozebrané příklady hypotetické a založeny na uměle vytvořených datech. Řešené úlohy jsou zjednodušením reality, ale snažila jsem se tyto příklady co nejvíc přiblížit skutečnosti, prozkoumat možné změny modelů a zohlednit některé vnější podmínky.

Nejtěžším úkolem pro mě bylo propojit všechny popsané teoretické obory mezi sebou. Posoudit, jestli se mi to podařilo nebo ne, může čtenář po přečtení této části práce sám.

3.1 Zavedení technologie JIT

V prvním příkladu bude rozebrán podnik, jehož řídicí pracovníci chtějí zavést technologii Just in Time. Jak již bylo popsáno v podkapitole 1.3.1, není to jednoduché a musí být zohledněna celá řada podmínek.

Budeme uvažovat hypotetický podnik, který vyrábí součástky pro automobily. V současné době má přiměřený zisk a manažeři chtějí obnovit a zefektivnit celý proces fungování firmy. Podnik má jeden výrobní závod a chce svou výrobu rozšířit. Řídicí pracovníci podniku přemýšlí o výstavbě dalších dvou továren a chtějí zároveň, aby podnik fungoval v režimu Just in Time. To znamená, že tato technologie musí být uplatněna nejen v procesech probíhajících v podniku, ale i v celém logistickém řetězci.

3.1.1 Výběr dodavatele

Pro úspěšné uplatnění JIT musí dojít k hluboké změně ve vztazích mezi dodavateli a odběratelem. Spolupráce se stávajícími dodavateli podniku nevyhovuje, proto manažeři chtějí začít spolupracovat se sedmi novými dodavateli a mají na výběr patnáct potenciálních partnerů. Existuje taky celá škála kritérií, podle kterých lze zájemce hodnotit. Mezi taková kritéria jsem se rozhodla zařadit:

- cenu výrobků,
- kvalitu výrobků,
- zmetkovost výrobků,
- úroveň služeb zákazníkům (informace o stavu objednávky, snadnost objednávání, záruka, úpravy, náhradní díly, vyřizovaní reklamací),
- vzdálenost dodavatele od podniku,
- osobnostní vztahy mezi pracovníky podniku a pracovníky dodavatelské firmy,
- dodací pružnost,
- reference jiných odběratelů,
- existence certifikaci podle norem ISO 9001,
- včasnost dodávek,
- stav vozového parku dodavatele.

Pro řešení tohoto problému lze uplatnit matematické metody, které byly rozebrány v teoretické části práce. V případě existence množiny variant a množiny kritérií, jsou nejvhodnějším matematickým nástrojem pro řešení takové úlohy metody vícekriteriálního rozhodování.

Pro výběr dodavatelů jsem se rozhodla použít dvě metody vícekriteriálního rozhodování. Vybrala jsem metody ORESTE a TOPSIS, jako zástupce metod s ordinální a kardinální informaci. Z mého pohledu lze v tomto případě tyto metody vhodně aplikovat. Metoda ORESTE je dobrá tím, že vyžaduje jako vstup pouze informaci o uspořádání kritérií podle důležitosti a taky je přípustná existence indiferentní důležitosti kritérií a variant. Metoda TOPSIS vyžaduje preferenční informaci ve formě vah, ale pokud váhy nejsou známé, lze je taky vypočítat pomocí jiných metod.

Vstupní údaje o dodavatelích a kritériích jejích ohodnocení ukazuje následující tabulka.

		KRITÉRIA										
		cena výrobku [Kč]	celková kvalita [body]	zmetkovost [%]	služby zákazníkům [body]	vzdálenost [km]	osobnostní vztahy [body]	dodací pružnost [body]	reference jiných odběratelů [slovně]	certifikace podle norem ISO 9001 [ano/ne]	včasnost dodávek [body]	stav vozového parku [slovně]
VARIANTY	dodavatel 1	72	7	5	10	120	10	3	velmi dobré	ano	7	nejmodernější
	dodavatel 2	57	6	6	6	53	9	4	výborné	ano	9	smíšený
	dodavatel 3	56	3	7	8	15	10	4	výborné	ano	7	nový
	dodavatel 4	73	9	2	4	95	9	7	velmi dobré	ano	5	velmi zastaralý
	dodavatel 5	86	9	1	9	46	3	8	postačující	ne	3	velmi zastaralý
	dodavatel 6	83	6	5	3	36	7	2	dobré	ne	6	nový
	dodavatel 7	33	7	5	8	111	7	3	velmi dobré	ano	7	nejmodernější
	dodavatel 8	48	7	5	8	103	2	9	postačující	ne	4	smíšený
	dodavatel 9	69	7	4	7	67	6	8	velmi dobré	ano	3	zastaralý
	dodavatel 10	62	4	8	7	80	5	7	dobré	ne	6	nejmodernější
	dodavatel 11	47	1	10	6	52	1	4	postačující	ne	8	zastaralý
	dodavatel 12	93	9	0,5	6	30	6	5	dobré	ne	6	zastaralý
	dodavatel 13	89	3	8	6	91	8	7	výborné	ano	9	smíšený
	dodavatel 14	57	7	4	6	28	8	9	velmi dobré	ne	8	smíšený
	dodavatel 15	53	8	4	4	49	9	5	velmi dobré	ano	8	nový
typ kritéria		min	max	min	max	min	max	max	max	max	max	max

Tabulka 1: Vstupní data

Pro řešení jsou nutné dodatečné informace o pořadí důležitosti jednotlivých kritérií. Rozhodla jsem použít pořadí důležitosti kritérií podle M. R. Lindere a H. E. Firona [10]. Nejdůležitějšími kritérii z pohledu těchto autorů jsou kvalita dodávaného zboží a včasnost dodávek. Jak jsou rozmístěny ostatní kritéria lze zjistit v následující tabulce. Na základě stanoveného pořadí byly spočítány váhy jednotlivých kritérií pomocí metody pořadí, o které se čtenář může podrobněji dozvědět ze zdroje [4]. Hodnoty vah jsou nutné pro řešení metodou TOPSIS. Následující tabulka zobrazuje pořadí kritérií a vypočítané váhy.

	KRITÉRIA										
	cena výrobku [Kč]	*celková kvalita [body]*	*zmetkovost [%]*	*služby zákazníkům [body]*	*vzdálenost [km]*	*osobnostní vztahy [body]*	*dodací pružnost [body]*	*reference jiných odběratelů [slovně]*	*certifikace podle norem ISO 9001 [ano/ne]*	*včasnost dodávek [body]*	*stav vozového parku [slovně]*
pořadí	3	1	4	6	7	9	5	8	10	2	11
hodnoty	9	11	8	6	5	3	7	4	2	10	1
váhy	**0,136**	**0,167**	**0,121**	**0,091**	**0,076**	**0,045**	**0,106**	**0,061**	**0,030**	**0,152**	**0,015**

Tabulka 2: Pořadí a váhy kritérií

První metoda, pomocí které jsem se rozhodla tuto úlohu řešit, je metoda TOPSIS. Pro výpočet je nutné vstupní data vhodným způsobem upravit: převést všechna kritéria na maximalizační typ a číselně vyjádřit slovně zadané údaje. Pro převedení slovních údajů na číselné hodnoty byly použity následující změny:

	slovně	***číselně***
reference odběratelů	*postačující*	1
	dobré	4
	velmi dobré	7
	výborné	10
stav vozového parku	*velmi zastaralý*	1
	zastaralý	3
	smíšený	5
	nový	8
	nejmodernější	10

Tabulka 3: Převedení slovních údajů na číselné hodnoty

Po provedení výše popsaných úprav data vypadají následovně:

		KRITÉRIA										
		cena výrobku [Kč]	celková kvalita [body]	zmetkovost [%]	služby zákazníkům [body]	vzdálenost [km]	osobnostní vztahy [body]	dodací pružnost [body]	reference jiných odběratelů [slovně]*	certifikace podle norem ISO 9001 [ano/ne]	včasnost dodávek [body]	stav vozového parku [slovně]**
VARIANTY	dodavatel 1	21	7	5	10	0	10	3	7	1	7	10
	dodavatel 2	36	6	4	6	67	9	4	10	1	9	5
	dodavatel 3	37	3	3	8	105	10	4	10	1	7	8
	dodavatel 4	20	9	8	4	25	9	7	7	1	5	1
	dodavatel 5	7	9	9	9	74	3	8	1	0	3	1
	dodavatel 6	10	6	5	3	84	7	2	4	0	6	8
	dodavatel 7	60	7	5	8	9	7	3	7	1	7	10
	dodavatel 8	45	7	5	8	17	2	9	1	0	4	5
	dodavatel 9	24	7	6	7	53	6	8	7	1	3	3
	dodavatel 10	31	4	2	7	40	5	7	4	0	6	10
	dodavatel 11	46	1	0	6	68	1	4	1	0	8	3
	dodavatel 12	0	9	9,5	6	90	6	5	4	0	6	3
	dodavatel 13	4	3	2	6	29	8	7	10	1	9	5
	dodavatel 14	36	7	6	6	92	8	9	7	0	8	5
	dodavatel 15	40	8	6	4	71	9	5	7	1	8	8
typ kritéria		max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max

Tabulka 4: Upravená vstupní data

S takto upravenými daty již lze pokračovat ve výpočtu. Na základě těchto hodnot byla spočítána normalizovaná kriteriální matice *R*. Hodnoty matice *R* jsem vynásobila odpovídajícími váhami v_j, a tímto způsobem byla získána vážená kriteriální matice *W*. Hodnoty matice *W* a vektory ideální varianty *H* a bazální varianty *D* jsou zobrazeny v následující tabulce.

W	0,023	0,045	0,028	0,035	0,000	0,016	0,013	0,017	0,011	0,041	0,006
	0,039	0,039	0,022	0,021	0,021	0,015	0,018	0,024	0,011	0,053	0,003
	0,040	0,019	0,017	0,028	0,032	0,016	0,018	0,024	0,011	0,041	0,005
	0,022	0,058	0,044	0,014	0,008	0,015	0,031	0,017	0,011	0,029	0,001
	0,008	0,058	0,050	0,031	0,023	0,005	0,036	0,002	0,000	0,018	0,001
	0,011	0,039	0,028	0,010	0,026	0,011	0,009	0,010	0,000	0,035	0,005
	0,065	0,045	0,028	0,028	0,003	0,011	0,013	0,017	0,011	0,041	0,006
	0,049	0,045	0,028	0,028	0,005	0,003	0,040	0,002	0,000	0,023	0,003
	0,026	0,045	0,033	0,024	0,016	0,010	0,036	0,017	0,011	0,018	0,002
	0,034	0,026	0,011	0,024	0,012	0,008	0,031	0,010	0,000	0,035	0,006
	0,050	0,006	0,000	0,021	0,021	0,002	0,018	0,002	0,000	0,047	0,002
	0,000	0,058	0,053	0,021	0,028	0,010	0,022	0,010	0,000	0,035	0,002
	0,004	0,019	0,011	0,021	0,009	0,013	0,031	0,024	0,011	0,053	0,003
	0,039	0,045	0,033	0,021	0,028	0,013	0,040	0,017	0,000	0,047	0,003
	0,043	0,052	0,033	0,014	0,022	0,015	0,022	0,017	0,011	0,047	0,005
H	0,065	0,058	0,053	0,035	0,032	0,016	0,040	0,024	0,011	0,053	0,006
D	0,000	0,006	0,000	0,010	0,000	0,002	0,009	0,002	0,000	0,018	0,001

Tabulka 5: Vážená kriteriální matice W a vektory ideální a bazální variant

Tyto hodnoty lze použit pro výpočet vzdálenosti variant od ideální varianty d_i^+ a vzdálenosti variant od bazální varianty d_i^-. V obou případech jsem pro výpočet použila Euklidovou míru vzdálenosti. [4] Dále na základě hodnot d_i^+, d_i^- byly spočítány hodnoty relativního ukazatele vzdáleností c_i. Následující tabulka zobrazuje získané výsledky.

		di+	*di-*	*ci*
VARIANTY	***dodavatel 1***	0,06738	0,06727	**0,50**
	dodavatel 2	0,05323	0,07531	**0,59**
	dodavatel 3	0,06429	0,06954	**0,52**
	dodavatel 4	0,06081	0,07965	**0,57**
	dodavatel 5	0,07349	0,08331	**0,53**
	dodavatel 6	0,07880	0,05555	**0,41**
	dodavatel 7	0,05152	0,08852	**0,63**
	dodavatel 8	0,05877	0,07761	**0,57**
	dodavatel 9	0,06165	0,06983	**0,53**
	dodavatel 10	0,07114	0,05395	**0,43**
	dodavatel 11	0,08591	0,06301	**0,42**
	dodavatel 12	0,07382	0,08347	**0,53**
	dodavatel 13	0,08816	0,05433	**0,38**
	dodavatel 14	0,04062	0,08514	**0,68**
	dodavatel 15	0,04292	0,08421	**0,66**

Tabulka 6: Vzdálenosti variant od ideální a bazální variant a relativní ukazatel vzdáleností

Dále je třeba uspořádat varianty podle hodnot c_i od největšího k nejmenšímu a takto získat výsledné uspořádání variant, které je zobrazeno v následující tabulce.

pořadí	*varianty*		
1	***dodavatel 14***		
2	***dodavatel 15***		
3	***dodavatel 7***		
4	***dodavatel 2***		
5	***dodavatel 4***	***dodavatel 8***	
6	***dodavatel 5***	***dodavatel 9***	***dodavatel 12***
7	***dodavatel 3***		
8	***dodavatel 1***		
9	***dodavatel 10***		
10	***dodavatel 11***		
11	***dodavatel 6***		
12	***dodavatel 13***		

Tabulka 7: Výsledné uspořádání variant podle metody TOPSIS

Dále jsem aplikovala metodu ORESTE pro řešení této úlohy vícekriteriálního rozhodování. Na začátku je třeba uspořádat varianty podle jednotlivých kritérií a tím získat matici pořadových čísel *P*. V tomto případě kritérium o existenci certifikátu ISO 9001 již nemá smysl, proto jsem se rozhodla nebrat toto kritérium v potaz. Matice *P* je zobrazena v následující tabulce.

		KRITÉRIA									
		cena výrobku [Kč]	celková kvalita [body]	zmetkovost [%]	služby zákazníkům [body]	vzdálenost [km]	osobnostní vztahy [body]	dodací pružnost [body]	reference jiných odběratelů [slovně]	včasnost dodávek [body]	stav vozového parku [slovně]
VARIANTY	dodavatel 1	10	7	8,5	1	15	1,5	13,5	6,5	7	2
	dodavatel 2	6,5	10,5	11	10	8	4	11	2	1,5	8,5
	dodavatel 3	5	13,5	12	4	1	1,5	11	2	7	5
	dodavatel 4	11	2	3	13,5	12	4	6	6,5	12	14,5
	dodavatel 5	13	2	2	2	5	13	3,5	14	14,5	14,5
	dodavatel 6	12	10,5	8,5	15	4	8,5	15	11	10	5
	dodavatel 7	1	7	8,5	4	14	8,5	13,5	6,5	7	2
	dodavatel 8	3	7	8,5	4	13	14	1,5	14	13	8,5
	dodavatel 9	9	7	5	6,5	9	10,5	3,5	6,5	14,5	12
	dodavatel 10	8	12	13,5	6,5	10	12	6	11	10	2
	dodavatel 11	2	15	15	10	7	15	11	14	4	12
	dodavatel 12	15	2	1	10	3	10,5	8,5	11	10	12
	dodavatel 13	14	13,5	13,5	10	11	6,5	6	2	1,5	8,5
	dodavatel 14	6,5	7	5	10	2	6,5	1,5	6,5	4	8,5
	dodavatel 15	4	4	5	13,5	6	4	8,5	6,5	4	5

Tabulka 8: Matice pořadových čísel P

Dále na základě matice *P* a vektoru pořadí důležitostí kritérií lze spočítat matice vzdáleností od fiktivního počátku pomocí Dujmovičové metriky. [4] Pak se konstruuje další matice pořadových čísel *R* takovým způsobem, že každé vzdálenosti d_{ij} je přiřazeno určité místo. Matice *R* vypadá následovně:

R										$\sum_{rij}$
80	37,5	56,5	25	147	60,5	126	67,5	42,5	90	**732,5**
30,5	82,5	96	86	73	71,5	99,5	51	4,5	114,5	**709**
19	121,5	107	28	37,5	60,5	99,5	51	42,5	99,5	**666**
95	2	15,5	128,5	117	71,5	33	67,5	105	149,5	**784,5**
119	2	12,5	26	47	131	20,5	139	132,5	149,5	**779**
106	82,5	56,5	146	46	93	145	109	78	99,5	**961,5**
6	37,5	56,5	28	137	93	126	67,5	42,5	90	**684**
8	37,5	56,5	28	126	144	17,5	139	118	114,5	**789**
64	37,5	23	48,5	81	111,5	20,5	67,5	132,5	135	**721**
53	104	123,5	48,5	93	120	33	109	78	90	**852**
7	141	143	86	59	148	99,5	139	12,5	135	**970**
142	2	9,5	86	45	111,5	62,5	109	78	135	**780,5**
130	121,5	123,5	86	103	75	33	51	4,5	114,5	**842**
30,5	37,5	23	86	42,5	75	17,5	67,5	12,5	114,5	**506,5**
15,5	9,5	23	128,5	54	75	62,5	67,5	12,5	99,5	**547,5**

Tabulka 9: Matice pořadových čísel R

Dalším krokem je určení řádkových součtů a uspořádání variant vzestupně podle hodnot součtů. V tomto okamžiku již lze předběžně stanovit výsledné pořadí variant.

pořadí	*varianta*
1	*dodavatel 14*
2	*dodavatel 15*
3	*dodavatel 3*
4	*dodavatel 7*
5	*dodavatel 2*
6	*dodavatel 9*
7	*dodavatel 1*
8	*dodavatel 5*
9	*dodavatel 12*
10	*dodavatel 4*
11	*dodavatel 8*
12	*dodavatel 13*
13	*dodavatel 10*
14	*dodavatel 6*
15	*dodavatel 11*

Tabulka 10: Předběžné uspořádání variant podle metody ORESTE

Potom následuje druhá část metody, kterou je preferenční analýza. V této části se provádí test na zjištění preference, indiference nebo nesrovnatelnosti variant. Výpočet pokračuje vytvářením matice preferenčních intenzit *C*, a pak normalizováním této matice. Normalizovaná matice C_n je zobrazena v následující tabulce.

Cn		VARIANTY														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VARIANTY	1	0,000	0,129	0,105	0,180	0,237	0,236	0,025	0,184	0,150	0,210	0,325	0,211	0,215	0,071	0,091
	2	0,146	0,000	0,063	0,216	0,285	0,239	0,119	0,234	0,176	0,194	0,213	0,217	0,143	0,020	0,050
	3	0,153	0,094	0,000	0,283	0,291	0,275	0,125	0,250	0,216	0,200	0,247	0,263	0,200	0,086	0,106
	4	0,143	0,163	0,198	0,000	0,130	0,232	0,151	0,173	0,079	0,214	0,344	0,113	0,190	0,033	0,034
	5	0,204	0,235	0,211	0,132	0,000	0,264	0,198	0,124	0,073	0,210	0,313	0,089	0,264	0,076	0,121
	6	0,072	0,058	0,064	0,106	0,133	0,000	0,065	0,154	0,103	0,116	0,199	0,064	0,144	0,011	0,006
	7	0,060	0,137	0,112	0,223	0,266	0,263	0,000	0,160	0,166	0,218	0,300	0,239	0,255	0,076	0,085
	8	0,144	0,160	0,163	0,170	0,117	0,278	0,085	0,000	0,082	0,153	0,253	0,184	0,248	0,058	0,109
	9	0,158	0,168	0,176	0,124	0,115	0,274	0,139	0,130	0,000	0,173	0,320	0,142	0,230	0,027	0,087
	10	0,124	0,092	0,067	0,166	0,158	0,194	0,098	0,108	0,079	0,000	0,188	0,144	0,119	0,044	0,085
	11	0,155	0,027	0,030	0,211	0,176	0,193	0,096	0,124	0,142	0,104	0,000	0,143	0,119	0,017	0,036
	12	0,177	0,166	0,181	0,116	0,088	0,194	0,170	0,190	0,100	0,195	0,279	0,000	0,208	0,035	0,052
	13	0,137	0,048	0,075	0,149	0,219	0,230	0,143	0,210	0,144	0,126	0,211	0,164	0,000	0,018	0,069
	14	0,233	0,165	0,200	0,232	0,270	0,336	0,203	0,259	0,180	0,291	0,348	0,231	0,257	0,000	0,071
	15	0,223	0,166	0,190	0,204	0,286	0,301	0,183	0,282	0,211	0,303	0,338	0,218	0,279	0,041	0,000

Tabulka 11: Matice normalizovaných preferenčních intenzit

Jak již bylo popsáno v teoretické části této práce, pro provedení preferenční analýzy je třeba stanovit prahy α, β, γ. Stanovení hodnot prahů je subjektivní záležitostí rozhodovatele. Existují však vzorce pro výpočet horní meze prahů α a β a dolní meze prahu γ. Rozhodla jsem se nechat hodnoty prahů α a β na jejích horních mezích. Prah γ jsem nastavila na hodnotu větší, než hodnota jeho dolní meze, protože v opačném případě by vycházelo, že většina variant je mezi sebou nesrovnatelných. Hodnoty prahů obsahuje další tabulka.

α	0,0357
β	0,0071
γ	6,0000

Tabulka 12: Hodnoty prahů

Po provedení testu na zjištění preference, indiference a nesrovnatelnosti variant byla vytvořena následující matice výsledků, kde symbol I znamená indiferenci variant, N – nesrovnatelnost variant mezi sebou, symbol > označuje preferenci varianty a_i před variantou a_j a symbol < naopak označuje, že varianta a_j je preferována před variantou a_i.

		VARIANTY														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VARIANTY	1	I	N	<	<	N	>	<	>	N	>	>	>	>	<	<
	2	N	I	<	>	>	>	N	>	N	>	>	>	>	<	<
	3	>	>	I	>	>	>	N	>	>	<	>	>	>	<	<
	4	>	<	<	I	N	>	<	N	<	>	>	N	<	<	<
	5	N	<	<	N	I	>	<	N	<	>	>	N	>	<	<
	6	<	<	<	<	<	I	<	<	<	<	N	<	<	<	<
	7	>	N	N	>	>	>	I	>	N	>	>	>	>	<	<
	8	<	<	<	N	N	>	<	I	<	>	>	N	>	<	<
	9	N	N	<	>	>	>	N	>	I	>	>	>	>	<	<
	10	<	<	>	<	<	>	<	<	<	I	>	<	N	<	<
	11	<	<	<	<	<	N	<	<	<	<	I	<	<	<	<
	12	<	<	<	N	N	>	<	N	<	>	>	I	>	<	<
	13	<	<	<	>	<	>	<	<	<	N	>	<	I	<	<
	14	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	I	>
	15	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	<	I

Tabulka 13: Matice výsledků podle metody ORESTE

Po dokončení druhé části výpočtu je vidět, že předběžné upořádání variant je v tomto případě i výsledným uspořádáním. Výhodou preferenční analýzy je stanovení vzájemných vztahů všech variant mezi sebou a v závislosti na hodnotách prahů se tyto vztahy můžou měnit.

Po provedení výpočtu lze porovnat výsledky obou metod.

pořadí	metoda ORESTE	metoda TOPSIS		
1	dodavatel 14	dodavatel 14		
2	dodavatel 15	dodavatel 15		
3	dodavatel 3	dodavatel 7		
4	dodavatel 7	dodavatel 2		
5	dodavatel 2	dodavatel 4	dodavatel 8	
6	dodavatel 9	dodavatel 5	dodavatel 9	dodavatel 12
7	dodavatel 1	dodavatel 3		
8	dodavatel 5	dodavatel 1		
9	dodavatel 12	dodavatel 10		
10	dodavatel 4	dodavatel 11		
11	dodavatel 8	dodavatel 6		
12	dodavatel 13	dodavatel 13		
13	dodavatel 10			
14	dodavatel 6			
15	dodavatel 11			

Tabulka 14: Porovnání výsledků

Je vidět, že vítězové jsou podle obou metod stejní. Dále se pořadí liší, ale v podstatě se jedná o nepatrné změny. Úkolem bylo vybrat sedm nejlepších dodavatelů z patnácti. Vybraní jsou 14., 15., 7., 2., 9., 1. a 5. dodavatel.

Na závěr lze ještě dodat, že metoda TOPSIS je z mého pohledu vhodná i pro řešení reálných a rozsáhlejších úloh. Pro zkrácení výpočtu by bylo lepší použít software, ale i v případě ručního počítání jsou čas a složitost výpočtu přiměřené. Metoda ORESTE mi vyšla jako nevhodná pro řešení takových úloh. Narazila jsem na velmi masivní výpočty, které vyžadují hodně času. V případě řešení reálného příkladu a většího objemu dat je lepší skončit výpočet ve fázi nalezení předběžného uspořádání variant, nebo použit nějaký program. Další možností je výběr jiné metody vícekriteriálního rozhodování.

3.1.2 Optimalizační model logistického řetězce při systému JIT

Hlavním předpokladem systému JIT je dokonalá koordinace mezi všemi prvky logistického řetězce. V sledovaném přikladu budeme předpokládat, že logistický řetězec se skládá ze sedmi dodavatelů, kteří byli vybráni v předcházející úloze, tří výrobců (továren), dvou distributorů a pěti potenciálních zákazníků. Při uplatnění JIT je hlavním cílem nastavit takovou velikost toku mezi články řetězce, aby celkové náklady byly minimální a aby tok produkce byl nepřetržitý a vyvážený. Taky je třeba respektovat kapacity všech účastníků řetězce a velikost poptávky zákazníků.

Rozhodla jsem řešit tuto úlohu o zavedení JIT jako úlohu smíšeného lineárního programování. V případě, kdy jsou k dispozici veškeré potřebné údaje o kapacitách výrobců, dodavatelů, distributorů, údaje o velikosti poptávky a údaje o nákladech, je lineární programování z mého pohledu vhodným nástrojem pro řešení takové úlohy. Cílem v tomto případe je najít optimální velikost toku produkce mezi články řetězce. Matematický model jsem formulovala na základě optimalizačního modelu dodavatelské sítě ze zdroje [3, str. 120].

Stejně jako v předcházejícím případě výběru dodavatelů, data nejsou reálná. Jsou uvažovány následující velikost poptávky zákazníků d_l, kapacity dodavatelů a_i, kapacity výrobců b_j a kapacity distributorů w_k.

dl	ai	bj	wk
	1000		
390	870		
320	900	800	
530	850	870	950
320	780	920	1050
420	835		
	930		

Tabulka 15: Velikost poptávky zákazníků, kapacity dodavatelů, výrobců a distributorů

Náklady se dělí na fixní a variabilní. Fixní náklady jsou dvojího druhu. Náklady F_j jsou náklady na zřízení továrny na j-tém místě, náklady F_k jsou náklady na spolupráci s k-tým distributorem.

Fj	Fk
910	830
1000	800
1250	

Tabulka 16: Vektory fixních nákladů

Variabilní náklady se skládají z jednotkových nákladů na transport mezi dodavatele a výrobce c_{ij}, jednotkových nákladů na transport mezi výrobce a distributory c_{jk} a jednotkových nákladů na přepravu mezi distributory a zákazníky c_{kl}.

Cij		výrobce		
		1	2	3
dodavatele	1	8	9	7
	2	9	6	8
	3	7	12	8
	4	10	13	6
	5	11	11	8
	6	7	8	7
	7	7	9	10

Tabulka 17: Náklady na transport mezi dodavatele a výrobce

Cjk		distributory	
		1	2
výrobce	1	40	45
	2	43	38
	3	30	46

Tabulka 18: Náklady na transport mezi výrobce a distributory

Ckl		zákazníky				
		1	2	3	4	5
dist-ry	1	6	5	6	7	5
	2	6	7	6	5	5

Tabulka 19: Náklady mezi distributory a zákazníky

Celý matematický model úlohy má tvar

minimalizovat

$$z = \sum_{j=1}^{3} F_j Y_j + \sum_{k=1}^{2} F_k Y_k + \sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{3} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{2} c_{jk} x_{jk} + \sum_{k=1}^{2}\sum_{l=1}^{5} c_{kl} x_{kl}$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^{3} x_{ij} \le a_i, \qquad i = 1, 2, \dots, 7,$$

$$\sum_{k=1}^{2} x_{jk} \le b_j Y_j, \qquad j = 1, 2, 3,$$

$$\sum_{l=1}^{5} x_{kl} \le w_k Y_k, \qquad k = 1, 2,$$

$$\sum_{k=1}^{2} x_{kl} = d_l, \qquad l = 1, 2, \dots, 5,$$

$$\sum_{i=1}^{7} x_{ij} - \sum_{k=1}^{2} x_{jk} \ge 0, \qquad j = 1, 2, 3,$$

$$\sum_{j=1}^{3} x_{jk} - \sum_{l=1}^{5} x_{kl} \ge 0, \qquad k = 1, 2,$$

$$Y_{j,k} \in \{0; 1\},$$

$$x_{ij}, x_{jk}, x_{kl} \ge 0, \qquad i = 1, 2, \dots, 7, \qquad j = 1, 2, 3,$$

$$k = 1,2, \qquad l = 1, 2, \dots, 5,$$

x_{ij} …velikost toku produkce mezi *i*-tým dodavatelem a *j*-tým výrobcem,

x_{jk} … velikost toku produkce mezi *j*-tým výrobcem a *k*-tým distributorem,

x_{kl} … velikost toku produkce mezi *k*-tým distributorem a *l*-tým zákazníkem,

Y_j … binární proměnná, která vyjadřuje výstavbu *j*-té továrny,

Y_k … binární proměnná, která vyjadřuje spolupráci s *k*-tým distributorem,

a_i … kapacity *i*-tého dodavatele,

b_j … kapacity *j*-tého výrobce,

w_k … kapacity *k*-tého distributora,

d_l … velikost poptávky *l*-tého zákazníka,

c_{ij}, c_{jk}, c_{kl} … jednotkové náklady pro transport mezi uzly jednotlivých úrovní řetězce,

F_j … fixní náklady na zřízení *j*-té továrny,

F_k … fixní náklady na spolupráci s *k*-tým distributorem.

Účelová funkce minimalizuje celkové náklady mezi všemi úrovněmi logistického řetězce. Dále následují podmínky nepřekročení kapacit dodavatelů, výrobců, distributorů a splnění požadavků zákazníků. Další dvě nerovnice zajištují absenci zásob na skladech všech účastníků systému. Poslední omezení označuje proměnné x_{ij}, x_{jk}, x_{kl} za nezáporné a proměnné $Y_{j,k}$ za binární.

Úloha byla řešena pomocí programu Lingo 11.0. Program úlohy vypadá následovně:

```
MODEL:

SETS:
      dodavatel/1..7/: a;
      vyrobce/1,2,3/: b, y, c_fix;
      distributor/1,2/: w, yy, c_fix2;
      zakaznik/1..5/: d;
      preprava1(dodavatel,vyrobce):c_dod_vyr, x_dod_vyr;
      preprava2(vyrobce,distributor):c_vyr_distr, x_vyr_distr;
      preprava3(distributor,zakaznik):c_distr_zak, x_distr_zak;
ENDSETS

DATA:
      a,b,d,w=@ole('optim_model_JIT.xlsx');
      c_fix,c_fix2=@ole('optim_model_JIT.xlsx');
      c_dod_vyr,c_vyr_distr,c_distr_zak=@ole('optim_model_JIT.xlsx');
      @ole('optim_model_JIT.xlsx')=y,yy,x_dod_vyr,x_vyr_distr,x_distr_zak;

ENDDATA
```

```
      [z]min=@sum(preprava1:c_dod_vyr*x_dod_vyr)+@sum(preprava2:c_vyr_distr
*x_vyr_distr)+@sum(preprava3:c_distr_zak*x_distr_zak)+@sum(vyrobce:y*c_fix)
+@sum(distributor:yy*c_fix2);

      @for(dodavatel(i):@sum(vyrobce(j):x_dod_vyr(i,j))<=a(i));
      @for(vyrobce(j):@sum(distributor(k):x_vyr_distr(j,k))<=b(j)*y(j));
      @for(distributor(k):@sum(zakaznik(l):x_distr_zak(k,l))<=w(k)*yy(k));
      @for(zakaznik(l):@sum(distributor(k):x_distr_zak(k,l))=d(l));
      @for(vyrobce(j):@sum(dodavatel(i):x_dod_vyr(i,j))-
@sum(distributor(k):x_vyr_distr(j,k))=0);
      @for(distributor(k):@sum(vyrobce(j):x_vyr_distr(j,k))-
@sum(zakaznik(l):x_distr_zak(k,l))=0);
      @for(vyrobce:@bin(y));
      @for(distributor:@bin(yy));


END
```

Po zadání výše uvedeného kódu do programu Lingo, byly získány následující výsledky.

Xij		výrobce		
		1	2	3
dodavatele	1	0	0	70
	2	0	870	0
	3	190	0	0
	4	0	0	850
	5	0	0	0
	6	0	0	0
	7	0	0	0

Tabulka 20: Produkční toky mezi dodavatele a výrobce

Vyšlo, že výrobci budou spolupracovat jenom s prvními čtyřmi dodavateli, spolupráce s ostatními dodavateli by nebyla efektivní pro celý logistický řetězec. Vektor bivalentních proměnných Y_j obsahuje samé jedničky, to znamená, že kromě první existující budou postavěny ještě dvě továrny.

Xjk		distributory	
		1	2
výrobce	1	30	160
	2	0	870
	3	920	0

Tabulka 21: Produkční toky mezi výrobce a distributory

Xkl		zákazníky				
		1	2	3	4	5
dist-ry	1	0	320	530	0	100
	2	390	0	0	320	320

Tabulka 22: Produkční toky mezi distributory a zákazníky

Vektor proměnných Y_k je jednotkový, to znamená, že výrobci budou spolupracovat s oběma distributory. Distribuční centra budou pak dodávat zboží všem pěti zákazníkům.

Hodnota účelové funkce se rovná částce 96 810 tis. Kč. Jedná se o minimální celkové náklady na přepravu mezi všemi prvky logistického řetězce, na výstavbu dvou továren a spolupráci s distributory.

Na závěr lze ještě dodat, že z mého pohledu je lineární programování vhodným nástrojem pro optimalizaci obdobných úloh. Má ale i své záporné stránky. První nevýhodou je to, že optimalizace se týká celého logistického systému, a nelze zaručit, že doporučené změny budou přínosné pro každého účastníka. Pro zaručení minimálních nákladů pro všechny úrovně systému lze použit vícekriteriální spojité modely rozhodování. Druhým problémem je získání potřebných dat pro vytvoření modelu. Pro zachycení veškerých aspektů a vytváření modelu maximálně přiblíženého realitě, musí analytik disponovat všemi potřebnými údaji od všech subjektů, což ve skutečnosti nebývá tak jednoduché.

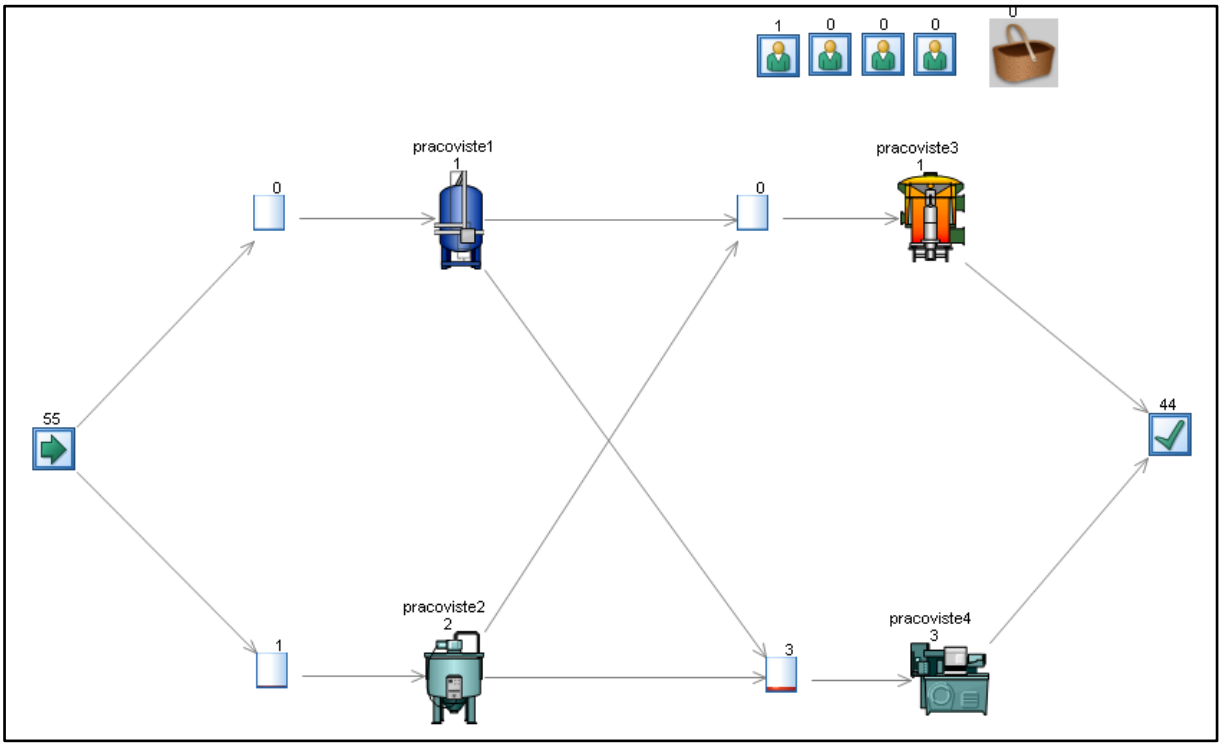
3.2 Zavedení technologie Kanban

V této podkapitole se pomocí využití simulačních metod pokusím ukázat čtenáři, jak funguje technologie Kanban.

Budu uvažovat jednoduchý hypotetický příklad, kdy existuje výrobní cech s čtyřmi stroji. V cechu je zavedena technologie Kanban, to znamená, že mezi stroji se součástky pohybují pomocí kanban přepravek. Výroba je nastavena takovým způsobem, že montáž může začínat buď na prvním, nebo na druhém stroji. Dále proces může pokračovat jak na třetím, tak i na čtvrtém stroji.

Pro analýzu fungování systému jsem využila simulační model, ve kterém jsou entitami součástky, procházející výrobním procesem. Cílem je analýza využití zdrojů, případně analýza vznikajících front.

Pro vytvoření simulačního modelu jsem použila program SIMUL8. Model v tomto programu vypadá následovně.



Obrázek 5: Model výrobního cechu v programu SIMUL8

Proces začíná vstupem součástek do systému. Následně první část entit jede na 1. pracoviště a druhá část na 2. pracoviště. Dále mohou entity pokračovat buď k 3., nebo k 4. pracovišti. Ke každému pracovišti je přiřazen zdroj, jehož funkcí v tomto případě plní pracovník. Kanban přepravka je také zadána do modelu jako zdroj.

Pro intervaly vstupu a pohybu součástek jsem zadala následující pravděpodobnostní rozdělení a jejích parametry.

	objekt	*rozdělení*	*parametry*		
1	vstup	*exponenciální*	10	-	-
2	pracoviště1	*rovnoměrné*	20	30	-
3	pracoviště2	*trojúhelníkové*	20	30	40
4	pracoviště3	*trojúhelníkové*	4	10	12
5	pracoviště4	*rovnoměrné*	45	60	-

Tabulka 23: Pravděpodobnostní rozdělení a jejích parametry

Jak již bylo zmíněno, každému stroji je přiřazen pracovník, který v tomto případě plní funkcí zdroje. Kromě pracovníků mezi zdroje patří kanban přepravky, prostřednictvím kterých se součástky pohybují. Na začátku jsem nastavila počet přepravek na číslo 3. V tomto případě byly získány následující výsledky.

kanban_prepravka	Utilization %	95.86
	Minimum Use	0.00
	Current Use	3.00
	Average Use	2.88
	Maximum Use	3.00
	Traveling %	0.00

Tabulka 24: Využití kanban přepravek

Kanban přepravky jsou využity na více než 95 % a kromě toho mezi jednotlivými stroji vznikají poměrně velké fronty. Pro ukázku uvádím charakteristiky front jenom před prvními dvěma stroji.

vystup	Average Time in System	182.10
Queue for pracoviste1	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	5.43
	Maximum queue size	13.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	23.29
	Average Queuing Time	99.73
	Average (non-zero) Queuing Time	109.71
	Maximum Queuing Time	203.10
	Number of non zero queuing times	10.00
	% Queued less than time limit	9.09
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	69.13
	Current Contents	13.00
	Items Entered	24.00
Queue for pracoviste2	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	8.02
	Maximum queue size	18.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	0.45
	Average Queuing Time	105.19
	Average (non-zero) Queuing Time	121.38
	Maximum Queuing Time	258.00
	Number of non zero queuing times	13.00
	% Queued less than time limit	26.67
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	87.38
	Current Contents	16.00
	Items Entered	31.00

Tabulka 25: Charakteristika front v případě třech kanban přepravek

Problém vzniku velkých front lze vyřešit zvýšením počtu pohybujících kanban přepravek. Po nastavení počtu přepravek na číslo 7 se výsledky simulace změnily a jsou následující.

kanban_prepravka	Utilization %	84.72
	Minimum Use	0.00
	Current Use	7.00
	Average Use	5.93
	Maximum Use	7.00
	Traveling %	0.00

Tabulka 26: Využití kanban přepravek

Kanban přepravky jsou využity skoro na 85 % a fronty vznikající mezi stroji již nejsou tak velké.

Queue for pracoviste1	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	0.24
	Maximum queue size	2.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	0.04
	Average Queuing Time	4.82
	Average (non-zero) Queuing Time	8.90
	Maximum Queuing Time	21.82
	Number of non zero queuing times	13.00
	% Queued less than time limit	79.17
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	7.11
	Current Contents	0.00
	Items Entered	24.00
Queue for pracoviste2	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	1.69
	Maximum queue size	5.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	0.45
	Average Queuing Time	25.27
	Average (non-zero) Queuing Time	27.08
	Maximum Queuing Time	61.02
	Number of non zero queuing times	28.00
	% Queued less than time limit	23.33
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	17.13
	Current Contents	1.00
	Items Entered	31.00

Tabulka 27: Charakteristiky front v případě sedmi kanban přepravek

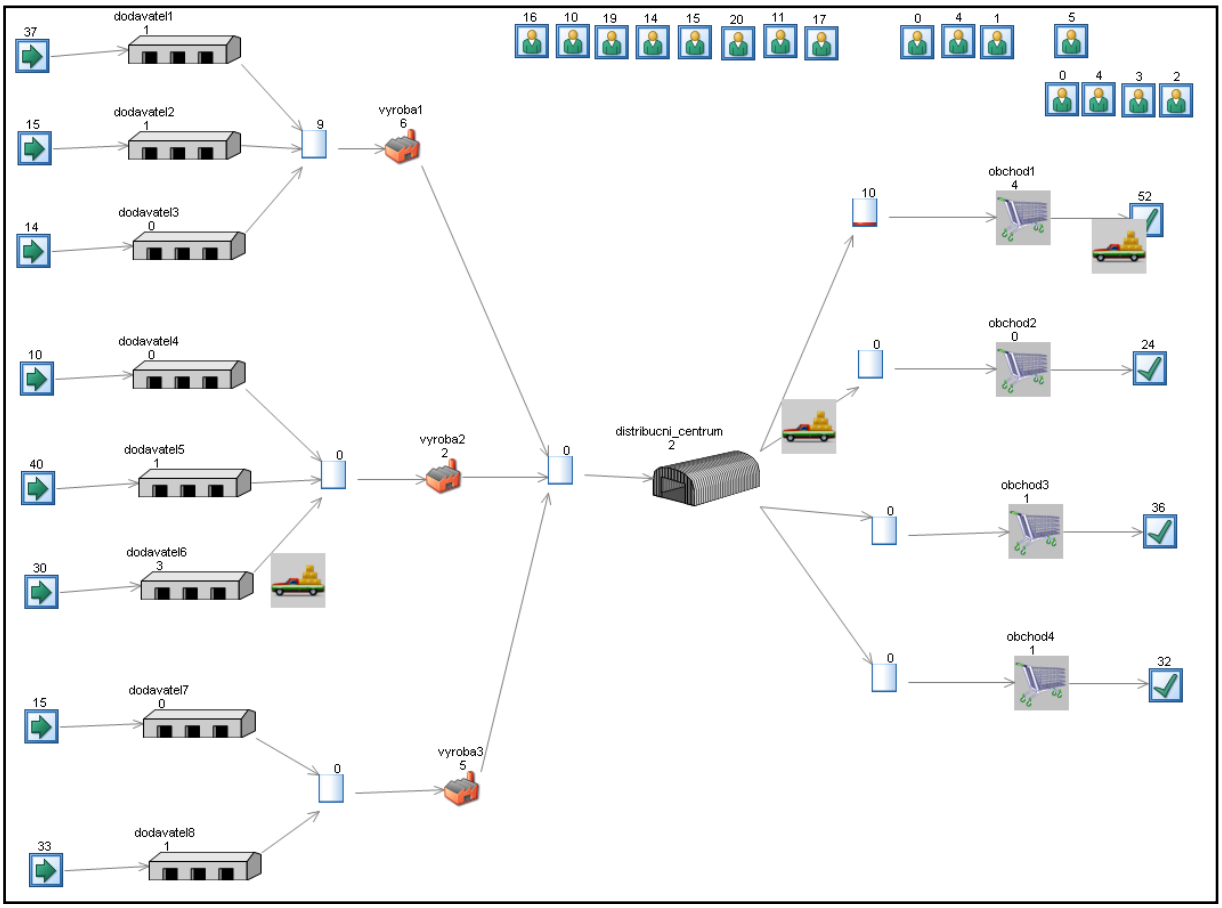
Výše uvedený příklad je samozřejmě značným zjednodušením reality a v případě analýzy skutečné situace simulační model bude mnohem složitější. Přesto je simulace z mého pohledu vhodným nástrojem pro modelování výrobního systému v případě uplatnění technologie Kanban.

3.3 Zavedení technologie Cross-Docking

V této podkapitole se pokusím rozebrat situace uvedení technologie Cross-Docking. Budeme předpokládat existenci logistického řetězce, ve kterém je zavedena technologie Cross-Docking. Řetězec se skládá z osmi dodavatelů, třech výrobních továren, jednoho distribučního centra a čtyři maloobchodů. Distribuční centrum byl zřízen poměrně nedávno, proto cílem je hlavně vyhodnotit efektivnost práce centra.

Pro analýzu fungování celé již existující dodavatelské sítě jsem rozhodla využit simulačních metod. Byl vytvořen simulační model, kde dopravní prostředky se zbožím jsou hlavními prvky pohybující se systémem. Zaměřila jsem se hlavně na vyhodnocení a analýzu front vznikajících před základními objekty systému.

Pro vytvoření simulačního modelu jsem použila program SIMUL8. Model v tomto programu vypadá následovně.



Obrázek 6: Model dodavatelské sítě v programu SIMUL8

Z obrázku je vidět, že model začíná vstupem entit do systému. Pak následuje přesun přepravních prostředků k dodavatelům, kde se uskutečňuje proces vykládky a nakládky. Dále se produkce přemísťuje do továren, kde probíhá výroba. Odtud se hotové výrobky svážejí do distribučního centra, kde jsou potom seskupeny v závislosti na dalším směru dopravy. Dále následuje článek maloobchodů, které jsou výrobky prodávány konečným zákazníkům, a vystup entit ze systému.

Pro intervaly vstupu a pohybu entit byly zadány následující pravděpodobnostní rozdělení a jejích parametry.

	objekt	***rozdělení***	***parametry***		
1	vstup1	*exponenciální*	20	-	-
2	vstup2	*exponenciální*	30	-	-
3	vstup3	*exponenciální*	40	-	-
4	vstup4	*exponenciální*	45	-	-
5	vstup5	*exponenciální*	20	-	-
6	vstup6	*exponenciální*	30	-	-
7	vstup7	*exponenciální*	40	-	-
8	vstup8	*exponenciální*	20	-	-
9	dodavatel1	*rovnoměrné*	10	30	-
10	dodavatel2	*trojúhelníkové*	15	30	60
11	dodavatel3	*rovnoměrné*	40	60	-
12	dodavatel4	*trojúhelníkové*	10	20	40
13	dodavatel5	*rovnoměrné*	10	20	-
14	dodavatel6	*trojúhelníkové*	15	30	45
15	dodavatel7	*rovnoměrné*	30	40	-
16	dodavatel8	*rovnoměrné*	15	30	-
17	výroba1	*rovnoměrné*	60	90	
18	výroba2	*trojúhelníkové*	20	30	40
19	výroba3	*trojúhelníkové*	40	60	90
20	**DC**	***vlastní:***	-	-	-
	ráno	*exponenciální*	15	-	-
	poledne	*exponenciální*	20	-	-
	odpoledne	*exponenciální*	30	-	-
	večer	*exponenciální*	15	-	-
21	obchod1	*exponenciální*	40	-	-
22	obchod2	*trojúhelníkové*	10	15	20
23	obchod3	*rovnoměrné*	20	40	-
24	obchod4	*trojúhelníkové*	15	20	25

Tabulka 28: Pravděpodobnostní rozdělení a jejích parametry

Pro vykonání aktivit popsaných v modelu jsou nutné zdroje. Informace o přiřazených zdrojích a jejích počtu je znázorněna v následující tabulce.

objekt	*zdroj*	*počet*
dodavatele	obsluha1	20
	obsluha2	15
	obsluha3	15
	obsluha4	20
	obsluha5	12
	obsluha6	20
	obsluha7	10
	obsluha8	17
vyroba	stroj1	6
	stroj2	6
	stroj3	6
DC	obsluha DC	7
obchody	obsluha obchodu1	4
	obsluha obchodu2	4
	obsluha obchodu3	4
	obsluha obchodu4	3

Tabulka 29: Zdroje simulačního modelu

Po zadání všech výše uvedených parametrů do programu SIMUL8 byla spuštěna simulace. Byly získány následující výsledky, tykající vzniku front mezi objekty systému.

Queue for vyroba1	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	9.97
	Maximum queue size	20.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	20.09
	Average Queuing Time	90.85
	Average (non-zero) Queuing Time	101.54
	Maximum Queuing Time	212.15
	Number of non zero queuing times	51.00
	% Queued less than time limit	10.53
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	61.52
	Current Contents	15.00
	Items Entered	72.00
Queue for vyroba2	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	0.21
	Maximum queue size	7.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	1.12
	Average Queuing Time	2.17
	Average (non-zero) Queuing Time	15.64
	Maximum Queuing Time	28.95
	Number of non zero queuing times	10.00
	% Queued less than time limit	88.89
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	6.17
	Current Contents	0.00
	Items Entered	72.00
Queue for vyroba3	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	0.22
	Maximum queue size	2.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	0.28
	Average Queuing Time	3.17
	Average (non-zero) Queuing Time	10.49
	Maximum Queuing Time	28.40
	Number of non zero queuing times	16.00
	% Queued less than time limit	81.13

Tabulka 30: Charakteristiky front před výrobními články

Z tabulky je vidět, že velké fronty vznikají před první továrnou, to znamená, že zboží se dodává rychleji, než stihá vyrábět továrna. Tento problém lze vyřešit zvýšením počtu zdrojů: například, zaměstnáním většího počtu lidí. Stejné opatření lze provést pro zmenšení fronty před druhou továrnou. Před poslední továrnou fronta také vzniká, ale je z mého hlediska zanedbatelná.

Následující tabulka ukazuje charakteristiky fronty, která vzniká před distribučním centrem.

Queue for distribucni_centrum	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	0.74
	Maximum queue size	6.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	0.00
	Average Queuing Time	3.21
	Average (non-zero) Queuing Time	7.50
	Maximum Queuing Time	28.49
	Number of non zero queuing times	72.00
	% Queued less than time limit	90.48
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	4.89
	Current Contents	0.00
	Items Entered	168.00

Tabulka 31: Charakteristiky fronty před distribučním centrem

Podle dat v tabulce lze zjistit, že fronta vzniká i před distribučním centrem, ale z mého pohledu její velikost je přiměřená a tato fronta nemá negativní vliv na celý řetězec.

Zbývá se jen podívat na charakteristiky front vznikajících před maloobchody.

Queue for obchod1	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	1.27
	Maximum queue size	6.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	1.33
	Average Queuing Time	16.50
	Average (non-zero) Queuing Time	25.93
	Maximum Queuing Time	75.19
	Number of non zero queuing times	35.00
	% Queued less than time limit	61.82
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	21.24
	Current Contents	1.00
	Items Entered	56.00
Queue for obchod2	Minimum queue size	0.00
	Average queue size	0.00
	Maximum queue size	1.00
	Minimum Queuing Time	0.00
	Minimum (non-zero) Queuing Time	0.00
	Average Queuing Time	0.00
	Average (non-zero) Queuing Time	0.00
	Maximum Queuing Time	0.00
	Number of non zero queuing times	0.00
	% Queued less than time limit	100.00
	"Queued less than" time	10.00
	St Dev of Queuing Time	0.00
	Current Contents	0.00
	Items Entered	26.00

Tabulka 32: Charakteristiky front před 1. a 2. Obchody

Z dat v tabulce je vidět, že větší fronta vzniká před prvním obchodem. Tato situace může nastat vzhledem ke skutečnosti, že 40 % produkce z distribučního centra se dodává právě do 1. obchodu. Řešením může opět být zvýšení počtu obsluhy maloobchodu.

Fronty vznikající před ostatními dvěma obchody, jsou zanedbatelné a nemají vliv na fungování celého dodavatelského řetězce.

Vzhledem k řešení modelové situace, kterou jsem prezentovala výše, lze udělat závěr, že simulační modely jsou vhodným nástrojem pro vyhodnocení fungování již existujícího logistického řetězce v případě Cross-Dockingu. Simulace lze použit i v situaci, kdy výstavba distribučního centra je teprve ve fázi plánování.

3.4 Zavedení technologie Hub and Spoke

V následujícím příkladu bude rozebrán podnik, jehož manažeři plánují aplikovat systém Hub and Spoke. Budeme uvažovat novou firmu, která chce poskytovat služby KEB, to znamená kurýrní, expresní a balíkové služby. Pro zefektivnění celého dodavatelského procesu se uvažuje o výstavbě pěti logistických center (hubů) v některých z osmi míst. I když se jedná o novou firmu, má jíž 10 zákazníků (odběratelů).

Pro zavedení této technologie jsem se rozhodla řešit tuto úlohu jako úlohu lineárního programování. Z mého pohledu nejvhodnějším způsobem je formulovat tento problém jako úlohu o pokrytí. Cílem v tomto případě bude najít takové rozmístění hubů, aby součet celkových nákladů na obsluhu všech odběratelů a provozních nákladů zřízených center byl minimální.

Data nejsou reálná. Jsou uvažovány následující náklady na obsluhu odběratele O_j z logistického centru zřízeného v místě M_i.

Cij		*odběratele*									
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
místa	**1**	101	103	98	125	117	100	156	120	101	99
	2	95	140	135	132	100	97	97	122	109	107
	3	98	99	106	158	108	109	99	134	144	100
	4	99	95	141	101	135	130	125	120	117	114
	5	126	118	92	95	94	147	120	119	104	113
	6	95	99	109	150	151	139	109	108	97	115
	7	164	105	135	127	122	121	103	141	139	111
	8	120	110	140	145	131	139	126	99	100	105

Tabulka 33: Náklady na obsluhu odběratele O_j z centru v místě M_i

Četnost obsluhy odběratelů f_j a náklady na provoz center p_i jsou zobrazeny v následující tabulce.

fj	četnost
1	5
2	2
3	3
4	4
5	4
6	5
7	2
8	4
9	5
10	3

pi	náklady na provoz
1	1520
2	1610
3	1500
4	1450
5	1350
6	1600
7	1690
8	1550

Tabulka 34: Četnost obsluhy odběratelů a náklady na provoz centrů

Matematický model je formulován na základě modelu, popsaného v podkapitole 2.2.2. Model má tvar

minimalizovat

$$z = \sum_{i=1}^{8} \sum_{j=1}^{10} c_{ij}\, x_{ij}\, f_j + \sum_{i=1}^{8} p_i y_i$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^{10} x_{ij} \leq 6y_i,\ i = 1, 2, \ldots, 8,$$

$$\sum_{i=1}^{8} x_{ij} = 1,\ j = 1, 2, \ldots, 10,$$

$$\sum_{i=1}^{10} y_i = 5\ ,$$

$$x_{ij} = 0(1),\ i = 1, 2, \ldots, 8,\ j = 1, 2, \ldots, 10,$$

$$y_i = 0(1),\ i = 1, 2, \ldots, 8,$$

y_i … bivalentní proměnná, která nabývá hodnotu 1 v případě zřízení centru v místě M_i,

x_{ij} … bivalentní proměnná, která znamená obsloužení odběratele O_j centrem zřízeným v místě M_i,

f_j … četnost obsluhy odběratele O_j,

p_i … náklady na provoz logistického centra v místě M_i,

c_{ij} … náklady na obsluhu odběratele O_j centrem zřízeným v místě M_i.

Účelová funkce minimalizuje součet nákladů na obsluhu všech odběratelů a nákladů zřízených logistických center v jednotlivých místech. První omezení odpovídá za maximální počet odběratelů, kteří mohou patřit k jednomu centru. Další omezení zaručuje obsloužení

každého odběratele právě jedním centrem. Celkem musí být vystaveno pět logistických center, za což odpovídá poslední omezení. Pak následují podmínky binárnosti proměnných x_{ij} a y_i.

Úloha byla řešena pomocí programu Lingo 11.0. Program úlohy vypadá následovně:

```
MODEL:

SETS:
      misto/1..8/: p, y;
      odberatel/1..10/: f;
      spojeni(misto,odberatel): c, x;
ENDSETS

DATA:
      c=@ole('optim_model_H&S.xlsx','naklady_var');
      f=@ole('optim_model_H&S.xlsx','cetnost');
      p=@ole('optim_model_H&S.xlsx','naklady_provoz');
      K=5;
      @ole('optim_model_H&S.xlsx','x')=x;
      @ole('optim_model_H&S.xlsx','y')=y;

ENDDATA

      min=@sum(spojeni:c*x*f)+@sum(misto:p*y);
      @for(misto(i):@sum(odberatel(j):x(i,j))<=6*y(i));
      @for(odberatel(j):@sum(misto(i):x(i,j))=1);
      @for(odberatel(j):@sum(misto(i):y(i))=K);
      @for(spojeni:@bin(x));
      @for(misto:@bin(y));
END
```

Po zadání výše uvedeného kódu do programu Lingo byly získány následující výsledky.

Xij		odběratele									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
místa	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Tabulka 35: Výsledky přiřazení odběratelů jednotlivým centrům

yi	centra
1	1
2	1
3	0
4	0
5	1
6	1
7	0
8	1

Tabulka 36: Místa, kde budou zřízeny logistická centra

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že logistická centra budou zřízeny v 1., 3., 4., 5. a 8. místě. Centrum, které bude zřízeno v 1. místě bude realizovat dodávky pro 6. a 10. odběratele, centrum zřízené ve 3. místě bude dodávat 1. a 7. odběrateli a dále obdobně podle dat v tabulce. Celkové náklady se rovnají 10 973 tis. Kč.

Podle mého názoru úloha o pokrytí je dobře aplikovatelná na situaci, kdy se firma rozhodla implementovat technologie Hub and Spoke. V případě optimalizace reálného problému a existence skutečných dat bude výpočet náročnější, ale pořád zvládnutelný pomocí optimalizačního softwaru. Z mého pohledu jedinou nevýhodou tohoto modelu je nezachycení kapacit center a požadavků odběratelů. Proto jsem se rozhodla pokusit o modifikaci tohoto modelu a vzít v úvahu údaje o kapacitách a požadavcích.

Jsou uvažována stejná data, ale navíc jsou ještě dány následující kapacity míst a_i a požadavky odběratelů b_j.

ai	kapacity
1	3320
2	3010
3	3570
4	2990
5	3460
6	3300
7	3710
8	3200

bj	požadavky
1	1500
2	1220
3	1670
4	1750
5	1270
6	1950
7	1000
8	2120
9	1310
10	1630

Tabulka 37: Kapacity míst a požadavky odběratelů

Matematický model se liší od předchozího a vypadá následovně.

minimalizovat

$$z = \sum_{i=1}^{8} \sum_{j=1}^{10} c_{ij} x_{ij} f_j + \sum_{i=1}^{8} p_i y_i$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^{10} x_{ij} \leq a_i y_i, i = 1, 2, \ldots, 8,$$

$$\sum_{i=1}^{8} x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \ldots, 10,$$

$$\sum_{i=1}^{10} y_i = 5, j = 1, 2, \ldots, 10,$$

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \ldots, 8, j = 1, 2, \ldots, 10,$$

$$y_i = 0(1), i = 1, 2, \ldots, 8,$$

y_i … bivalentní proměnná, která nabývá hodnotu 1 v případě zřízení centru v místě M_i,

x_{ij} … velikost produkčního toku mezi centrem zřízeným v místě M_i a odběratelem O_j,

f_j … četnost obsluhy odběratele O_j,

p_i… náklady na provoz logistického centra v místě M_i,

c_{ij} … náklady na obsluhu odběratele O_j centrem zřízeným v místě M_i.

Stejně jako v předchozí úloze účelová funkce minimalizuje součet nákladů na obsluhu všech odběratelů a nákladů zřízených centrů v jednotlivých místech. Dále následují podmínky nepřekročení kapacit jednotlivých míst a splnění požadavků odběratelů. Proměnná x_{ij} v tomto případě již není bivalentní, ale nabývá nezáporných hodnot. Zbývající podmínky jsou stejné jako v předchozí úloze.

Úloha byla řešena pomocí programu Lingo 11.0. Program úlohy vypadá následovně:

```
MODEL:

SETS:
      misto/1..8/: p, y, a;
      odberatel/1..10/: f, b;
      spojeni(misto,odberatel): c, x;
ENDSETS

DATA:
      c=@ole('optim_model_H&S.xlsx','naklady_var');
      f=@ole('optim_model_H&S.xlsx','cetnost');
      p=@ole('optim_model_H&S.xlsx','naklady_provoz');
      a=@ole('optim_model_H&S.xlsx','kapacity');
```

```
        b=@ole('optim_model_H&S.xlsx','pozadavky');
        K=5;
        @ole('optim_model_H&S.xlsx','x')=x;
        @ole('optim_model_H&S.xlsx','y')=y;

ENDDATA

        min=@sum(spojeni:c*x*f)+@sum(misto:p*y);
        @for(odberatel(j):@sum(misto(i):y(i))=K);
        @for(misto(i):@sum(odberatel(j):x(i,j))<=a(i)*y(i));
        @for(odberatel(j):@sum(misto(i):x(i,j))=b(j));

        @for(misto:@bin(y));
END
```

Po zadání výše uvedeného kódu do programu Lingo byly získány následující výsledky.

Xij		odběratele									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
místa	1	0	460	1230	0	0	0	0	0	0	1630
	2	60	0	0	0	0	1950	1000	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	440	1750	1270	0	0	0	0	0
	6	1440	760	0	0	0	0	0	0	1100	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	2120	210	0

Tabulka 38: Velikost produkčního toku mezi místy a odběrateli

yi	centra
1	1
2	1
3	0
4	0
5	1
6	1
7	0
8	1

Tabulka 39: Místa, kde budou zřízeny logistická centra

Výsledky se liší od předchozího modelu. Po zachycení kapacit míst a požadavků odběratelů je vidět, že logistická centra budou zřízeny v 1., 2., 5., 6. a 8. místě. Hodnota účelové funkce se rovná 5 692 830 tis. Kč.

Z provedených výpočtů vyplývá závěr, že výsledky se mohou lišit v závislosti na vstupních podmínkách. Pro získání přesnějších výsledků je nutné disponovat všemi

potřebnými daty a informacemi o zkoumaném problému. Různé variace modelu a analýza jejích výsledků zvyšuje pochopení podstaty problému.

Na závěr lze říct, že lineární programování je z mého pohledu vhodným a efektivním nástrojem pro výběr míst zřízení hubů.

Závěr

Cílem mé diplomové práce byla aplikace optimalizačních a simulačních metod na praktické příklady ve spojení s logistickými technologiemi.

První část práce byla zaměřena na seznámení s teorií, které je základem pro praktickou část mé práce.Teoretická část byla rozdělena na logistickou a matematickou. V první části se čtenář seznámil s pojmem logistika. Také zde byly popsány logistické technologie, na nichž následně byly aplikovány matematické metody. Ve druhé kapitole byly podrobně rozebrány optimalizační a simulační metody a modely, mezi které patří: lineární programování, distribuční, simulační a vícekriteriální modely.

Druhá část se věnuje aplikaci výše uvedených matematických metod na praktické příklady. Část obsahuje čtyři příklady, kde každý příklad modeluje hypotetickou situaci zavedení různých logistických technologií.

V prvním příkladu jsem aplikovala model smíšeného lineárního programování a metody vícekriteriálního rozhodování na logistickou technologie Just in Time. Podle získaných výsledků byl získán závěr, že optimalizační model smíšeného lineárního programování je vhodným nástrojem pro optimalizaci dodavatelských řetězců. Metody TOPSIS a ORESTE použité pro výběr dodavatelů jsou dle mého pohledu také vhodné pro obdobné úlohy. Avšak metoda TOPSIS dle mého názoru je více přijatelná pro výpočet.

Druhým příkladem je analýza podniku, který již má zavedenou technologií Kanban. V tomto případě jsem pro analýzu systému využila simulační modely.

Ve třetím příkladu jsem formulovala simulační model, kdy je implementována technologie Cross-Docking. Závěr je stejný jako v předchozí situaci a to, že simulace je dobrým nástrojem pro analýzu takových problémů.

Posledním příkladem byla aplikace úlohy o pokrytí na problém zřízení hubů v případě zavedení technologie Hub and Spoke. Využití modelu lineárního programování i v tomto případě považuji za úspěšné. V případě optimalizace reálného problému a existence skutečných dat bude sice výpočet náročnější, ale pořád zvládnutelný pomocí optimalizačního softwaru.

Po provedení všech výpočtů a analýz lze shrnout, že hlavními nevýhodami matematických modelů je nutnost zohlednění všech podmínek a případná nedostupnost

veškerých potřebných dat. Přesto si myslím, že optimalizační a simulační metody můžou značně pomoct při zefektivnění logistických procesů.

Seznam použité literatury

[1] DLOUHÝ, M., FÁBRY, J., KUNCOVÁ, M., HLADÍK, T. *Simulace podnikových procesů*. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.

[2] DRAHOTSKÝ, I., ŘEZNÍČEK, B. *Logistika – procesy a jejích řízení*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-521-0.

[3] FIALA, P. *Dynamické dodavatelské sítě*. Praha: Professional Publishing, 2009. ISBN 978-80-7431-023-2.

[4] FIALA, P. *Modely a metody rozhodování*. Praha: Oeconomica, 2006. ISBN 80-245-0622-X.

[5] FIALA, P. *Modely produkčních systémů*. Praha: Oeconomica, 2005. ISBN 80-245-0985-7.

[6] JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum*. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-42-8.

[7] JABLONSKÝ, J. *Programy pro matematické modelování*. Praha: Oeconomica, 2007. ISBN 978-80-245-1178-8.

[8] LAGOVÁ, M., JABLONSKÝ, J. *Lineární modely*. Praha: Oeconomica, 2009. ISBN 978-80-245-1511-3.

[9] LAMBERT, D., STOCK, J. R., ELLRAM, L. *Logistika – příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. Brno: CP Books, a.s., 2005. ISBN: 80-251-0504-0.

[10] LINDERE, M.R, FIRON, H.E. *Purchasing management and stocks. Logistic / the Lane with English*. Saint-Petersburg: Victoria plus, 2002.

[11] PERNICA, P. *Logistický management – teorie a podniková praxe*. Praha: Radix spol. s.r.o., 1998. ISBN: 80-86031-13-6.

[12] PERNICA, P. *Logistika (Supply chain management) pro 21. století*. Praha: Radix spol. s.r.o., 2004. ISBN: 80-86031-59-4.

[13] SIXTA, J., MAČÁT, V. *Logistika – teorie a praxe*. Brno: CP Books, a.s., 2005. ISBN 80-251-0573-3.

[14] SIXTA, J., ŽIŽKA, M. *Logistika – metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2563-2.

[15] ŠTŮSEK, J. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-534-6.

Internetové zdroje

[16] An Overview of LINGO. In: *LINDO Systems* [online]. 2013 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=10.

[17] Arifmetika Kanban, ili Kak organizovat' postavki. In: *Upravleniye proizvodstvom* [online]. 2012 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.up-pro.ru/journal/zarubejnyj-opyt/arifmetika-kanban1.html.

[18] ESENKIN, B.S. a M.D. KRYLOVA. *Logistika v knizhnom dele* [online]. Moskva: Izdatel'stvo MGUP, 2002 [cit. 2013-04-28]. ISBN 5-8122-0287-7.

[19] GLADCHENKO. Just-in-time - Plyusy i minusy postavok tochno-v-srok. *Management* [online]. 2008, č. 1 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.biztimes.ru/index.php?artid=1054.

[20] *Kanban cards* [online]. 2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: http://en.system-kanban.pl/kanban-cards/.

[21] Kanban. In: *Upravleniye proizvodstvom* [online]. 2012 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.up-pro.ru/encyclopedia/kanban-sistema.html.

[22] *Kanban "na paltsah"* [online]. 2011 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://dev.by/blogs/main/kanban-na-paltsah.

[23] Kross-doking. In: *Vse o logistike* [online]. 2008 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://cia-center.ru/article/367.

[24] Kross-doking: Khitrosti predprodazhnoy obrabotki tovara v processe kross-dokinga. In: *Lobanov Logist* [online]. 2007 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.lobanov-logist.ru/index.php?newsid=33.

[25] "Kross-doking" - ne panatseya?. *Sovremennyi sklad* [online]. 2008, č. 3 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://ssklad.ru/arhiv/2008/3_08s2.php.

[26] Lekcii po logistike. In: *Tarefer* [online]. 2010 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://works.tarefer.ru/47/100034/index.html.

[27] *Logistika FD, CVUT* [online]. 2012 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://s10.webst.fd.cvut.cz/.

[28] Logistika: Vidy logistiki. In: *Administrativno-upravlencheskiy portal* [online]. 2006 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.aup.ru/books/m99/4_7.htm.

[29] Logistika v malom biznese. In: *Distancionnyi konsalting* [online]. 2012 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.dist-cons.ru/modules/logistic/section3.html.

[30] RICHTR, A. *Využití optimalizace a simulace v rámci dodavatelského řetězce [elektronický zdroj]*. Praha, 2008. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická. [cit. 2013-04-28].

[31] *SIMUL8* [online]. 2013 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.simul8.com/.

[32] Sistema operativnogo planirovaniya "Kanban". In: *Subscribe.ru* [online]. 2011 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://subscribe.ru/group/upravlenie-biznesom/393343/.

[33] Sistemy "tochno-v-srok": razrabotka i vnedreniye. In: *Elitarium* [online]. 2007 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.elitarium.ru/2007/06/15/sistemy_tochnovsrok_justintime_razrabotka_i_vnedrenie.html.

[34] Tekhnologicheskaya effektivnost kross-dokinga. In: *Klub logistov* [online]. 2011 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.logists.by/content/tekhnologicheskaya-effektivnost-kross-dokinga.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Ukázka Kanban karty [20] 10
Obrázek 2: Schéma materiálového toku v systému s distribučním centrem [13] 14
Obrázek 3: Možnosti konfigurace skladů [23] 15
Obrázek 4: Princip logistické technologie Hub and Spoke [27] 16
Obrázek 5: Model výrobního cechu v programu SIMUL8 50
Obrázek 6: Model dodavatelské sítě v programu SIMUL8 54

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vstupní data 36
Tabulka 2: Pořadí a váhy kritérií 37
Tabulka 3: Převedení slovních údajů na číselné hodnoty 37
Tabulka 4: Upravená vstupní data 38
Tabulka 5: Vážená kriteriální matice W a vektory ideální a bazální variant 38
Tabulka 6: Vzdálenosti variant od ideální a bazální variant a relativní ukazatel vzdáleností 39
Tabulka 7: Výsledné uspořádání variant podle metody TOPSIS 39
Tabulka 8: Matice pořadových čísel P 40
Tabulka 9: Matice pořadových čísel R 41
Tabulka 10: Předběžné uspořádání variant podle metody ORESTE 41
Tabulka 12: Hodnoty prahů 42
Tabulka 11: Matice normalizovaných preferenčních intenzit 42
Tabulka 13: Matice výsledků podle metody ORESTE 43
Tabulka 14: Porovnání výsledků 43
Tabulka 15: Velikost poptávky zákazníků, kapacity dodavatelů, výrobců a distributorů 45
Tabulka 16: Vektory fixních nákladů 45
Tabulka 17: Náklady na transport mezi dodavatele a výrobce 45
Tabulka 18: Náklady na transport mezi výrobce a distributory 45
Tabulka 19: Náklady mezi distributory a zákazníky 46
Tabulka 20: Produkční toky mezi dodavatele a výrobce 48
Tabulka 21: Produkční toky mezi výrobce a distributory 48
Tabulka 22: Produkční toky mezi distributory a zákazníky 49
Tabulka 23: Pravděpodobnostní rozdělení a jejích parametry 51
Tabulka 24: Využití kanban přepravek 51
Tabulka 25: Charakteristika front v případě třechkanban přepravek 52
Tabulka 26: Využití kanban přepravek 52
Tabulka 27: Charakteristiky front v případě sedmi kanban přepravek 53
Tabulka 28: Pravděpodobnostní rozdělení a jejích parametry 55

Tabulka 29: Zdroje simulačního modelu 56
Tabulka 30: Charakteristiky front před výrobními články 57
Tabulka 31: Charakteristiky fronty před distribučním centrem 58
Tabulka 32: Charakteristiky front před 1. a 2. Obchody 59
Tabulka 33: Náklady na obsluhu odběratele O_j z centru v místě M_i 60
Tabulka 34: Četnost obsluhy odběratelů a náklady na provoz centrů 61
Tabulka 35: Výsledky přiřazení odběratelů jednotlivým centrům 62
Tabulka 36: Místa, kde budou zřízeny logistická centra 63
Tabulka 37: Kapacity míst a požadavky odběratelů 63
Tabulka 38: Velikost produkčního toku mezi místy a odběrateli 65
Tabulka 39: Místa, kde budou zřízeny logistická centra 65