

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vztah dopravních nákladů a výrobních procesů

Luboš Tichý

Disertační práce

2015

Studijní program:

P3710 Technika a technologie v dopravě a spojkách

Studijní obor:

3708V024 Technologie a management v dopravě a telekomunikacích

Školitel: prof. Ing. Vlastimil Melichar, Ph.D.

Školitel specialista:

Disertační práce vznikla na školícím pracovišti:

Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 25. 8. 2015

Luboš Tichý

Rád bych poděkoval svému školiteli prof. Ing. Vlastimilu Melicharovi, CSc. za vstřícný přístup a cenné rady při zpracovávání disertační práce.

Dále bych rád poděkovat Ing. Janě Heckenbergerové, Ph.D. a Ing. Petru Doleželovi, Ph.D. za jejich cenné rady ohledně genetických algoritmů a programu Matlab.

Děkuji své ženě a synovi Šimonkovi za morální podporu, které se mi dostávalo při vypracování disertační práce.

ANOTACE

Práce se zaměřuje na výrobní procesy a distribuční činnost výrobních podniků. Navrhuje model pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku. Zabývá se též genetickými algoritmy a jejich praktickým využitím.

KLÍČOVÁ SLOVA.

výrobní procesy, distribuce, genetické algoritmy, fitness funkce

TITLE

Relationship between transport costs and production processes

ANNOTATION

The work focuses on production processes and distribution activity of manufacturing companies. It proposes a model for minimizing the total relevant manufacturing and logistics costs of manufacturing-distribution chain of manufacturing companies. It also deals with genetic algorithms and their practical use.

KEYWORDS

production processes, distribution, genetic algorithms, fitness function

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE	12
1.1 Analýza současného stavu v ČR.....	17
1.1.1 Výrobní procesy	17
1.1.2 Řízení výrobního procesu	17
1.1.3 Nástroje na řízení výrobních procesů.....	19
1.1.4 Logistika jako součást hodnototvorného řetězce	22
1.1.5 Logistické systémy.....	23
1.1.6 Distribuční (výstupní) logistika.....	25
1.1.7 Vztah mezi výrobními procesy a dopravními náklady.....	28
1.2 Analýza současného stavu v zahraničí	29
1.2.1 Výrobní procesy	29
1.2.2 Podnikové aplikace pro plánování a řízení výroby	30
1.2.3 Nástroje na řízení výrobního procesu	32
1.2.4 Vztah mezi výrobním procesem a distribučními náklady	36
1.2.5 Nástroje na řízení distribučních nákladů.....	37
1.3 Kritické zhodnocení analýzy současného stavu	39
2 DEFINICE CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE	41
3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ	42
3.1 Analýza a syntéza	42
3.2 Modelování	42
3.3 Genetické algoritmy	43
3.3.1 Biologické kořeny a shrnutí základních poznatků	45
3.3.2 Mechanismus genetického algoritmu.....	46
3.3.3 Terminologie genetických algoritmů	47
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	52
4.1 Specifikace výrobního podniku pro navržený model řešení.....	53
4.1.1 Relevantní výrobní a logistické náklady pro zvolený model	54
4.1.2 Irelevantní náklady pro zvolený model.....	55
4.1.3 Proměnné použité ve zvoleném modelu	56
4.2 Návrh konkrétního algoritmu a sestavení výpočtového modelu	57
4.2.1 Geneze návrhu genetického algoritmu pro výrobně-distribuční řetězec	58
4.2.2 Popis jednotlivých kroků genetického algoritmu	62
4.3 Ověření funkčnosti navrženého algoritmu pomocí simulačního programu Matlab.....	69
4.4 Komparace navrženého řešení se stávajícím stavem na konkrétní výrobní podnik	78

5	VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	80
6	VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA	83
7	ZÁVĚR.....	84
8	POUŽITÁ LITERATURA	86
9	PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE	95
10	SEZNAM PŘÍLOH	96

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Porovnání mezi dosavadním systémem a navrženým systémem plánování	78
--	----

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Porterův hodnototvorný řetězec	13
Obrázek 2 Výrobní proces	18
Obrázek 3 Diagram rybí kost.....	19
Obrázek 4 Zvyšování výrobních dávek	20
Obrázek 5 Snižování výrobních dávek	20
Obrázek 6 Princip optimalizace výrobní dávky.....	20
Obrázek 7 Logistické činnosti	23
Obrázek 8 Výhody a nevýhody systému JIT	24
Obrázek 9 Tlačná metoda řízení	30
Obrázek 10 Tažná metoda řízení	32
Obrázek 11 Přístup DMAIC	34
Obrázek 12 Nástroje Lean Six Sigma.....	35
Obrázek 13 Procesní mapa většiny výrobních firem	40
Obrázek 14 Binární kódování	47
Obrázek 15 Permutační kódování.....	48
Obrázek 16 Jednobodové křížení	49
Obrázek 17 Dvoubodové křížení	50
Obrázek 18 Křížení u permutačního kódování	50
Obrázek 19 Porterův hodnototvorný řetězec s vyznačeným propojením výroby a výstupní logistiky	52
Obrázek 20 Oblasti optimalizace v rámci vlastního řešení.....	53
Obrázek 21 Výchozí popis modelu pro výrobně-distribuční řetězec.....	58
Obrázek 22 Znázornění genu.....	59
Obrázek 23 Síťový diagram genetického algoritmu pro výrobně-distribuční řetězec	60
Obrázek 24 Schéma výpočtu hodnoty fitness funkce jedince	61
Obrázek 25 Náklady spojené s přestavbou NVp	63
Obrázek 26 Náklady spojené s přestavbou a distribuční náklady.....	64
Obrázek 27 Vzdálenosti mezi jednotlivými vrcholy	64
Obrázek 28 Náklady spojené s přestavbou, distribuční a skladovací náklady.....	65
Obrázek 29 Křížení jedinců.....	66
Obrázek 30 Mutace jedinců.....	67
Obrázek 31 Určení parametrů výroby	70
Obrázek 32 Určení parametrů objednávky	70
Obrázek 33 Určení parametru stavu objednávky.....	71
Obrázek 34 Určení nákladů spojených s přestavbou	72
Obrázek 35 Určení skladovacích nákladů	72
Obrázek 36 Určení distribučních nákladů	73
Obrázek 37 Nastavení parametrů algoritmu	73
Obrázek 38 Nejlepší jedinec.....	75
Obrázek 39 Detail nejlepšího jedince	76
Obrázek 40 Znázornění průběhu výpočtů.....	77

SEZNAM ZKRATEK

APS	Advanced Planning and Scheduling pokročilé plánování
DDP	Delivered duty paid jmenované místo určení
DMAIC	Define-Measure-Analyze-Improve-Control definuj-měř-analyzuj-zlepšuj-kontroluj
ECR	Efficient Consumer Response efektivní reagování na přání zákazníka
ERP	Enterprise Resource Planning podnikový informační systém
GA	Genetic Algorithm genetický algoritmus
INCOTERMS	International Commercial Terms soubor mezinárodních pravidel pro výklad dodacích doložek
JIT	Just in Time právě v čas
LP	Linear Programming lineární programování
MRP	Material Requirement Planning plánování požadavků materiálu
MRP II	Manufacturing Resource Planning plánování výrobních zdrojů
SMED	Single Minute Exchange of Die optimalizace času přestaveb
TPM	Total Productive Maintenance optimální údržba strojního zařízení
VSM	Value Stream Mapping procesní mapa

ÚVOD

Konkurenční prostředí tlačí výrobní podniky v posledních letech k hledání skrytých rezerv v podnikovém hospodaření. Náklady jsou jednou z nejdůležitějších položek, kterou musí výrobní podniky nepřetržitě sledovat a vyhodnocovat, aby byla zajištěna efektivnost probíhajících procesů a dlouhodobá existence výrobního podniku. Proto se výrobní podniky zaměřují na hodnototvorný řetězec, kde se snaží identifikovat případné činnosti, které nepřinášejí přidanou hodnotu pro zákazníka. Do popředí zájmu manažerů výrobních firem se stále více dostává procesní řízení a principy štíhlé výroby.

V současném konkurenčním prostředí má zákazník nespočetně možností, jak si vybrat daný výrobek nebo danou službu. Výrobní podnik, ať v České republice nebo v zahraničí, musí optimalizovat své výrobní procesy a logistické procesy tak, aby byly schopny pružně reagovat na změny na trhu.

Disertační práce bude vycházet z analýzy hodnototvorného řetězce. Zejména se bude zabývat vzájemnými vazbami mezi výrobním a distribučním procesem, který je spjat s výrobními a logistickými náklady.

Cílem disertační práce je návrh modelu pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku s využitím genetických algoritmů.

Pro naplnění tohoto cíle je důležité zmapovat výrobní proces a distribuční proces (výstupní logistiky) výrobního podniku včetně vzájemných vazeb s cílem nastavit výrobně-distribuční řetězec tak, aby celkové relevantní výrobní a logistické náklady na tyto činnosti, při splnění stanovených požadavků, byly minimální.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE

V této kapitole jsou shrnuty poznatky získané na základě rešerše dostupných zdrojů týkajících se vlivu hodnototvorného řetězce na výkonnost podniku a procesní řízení podniku.

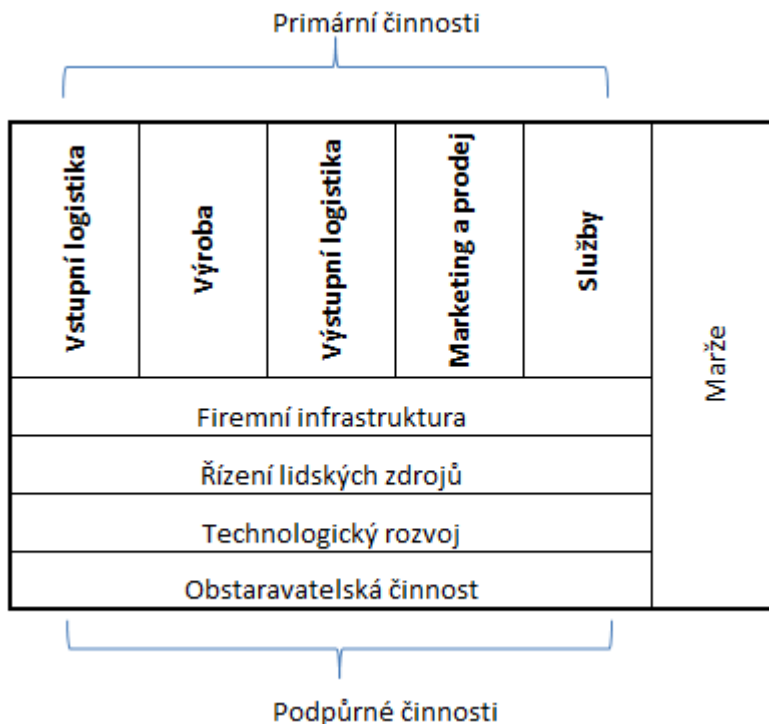
Od devadesátých let minulého století se v podnikohospodářské praxi prosazuje zásadní změna v celkovém pojetí a koncepci řízení ve výrobních podnicích, kde je důraz kladen především na procesní přístup řízení (**Řepa**, 2012). Jde o přechod od funkčního přístupu řízení k procesnímu přístupu řízení (**Basl, Tůma a Gasl**, 2002).

Dle **Tučka, Hrabala a Trčka** (2014) jsou původní funkční systémy řízení založené na dělbě práce a jejich specializaci, kdy každá organizační jednotka se specializuje na určitý okruh činnosti. Toto přináší obrovskou nevýhodu, neboť se organizační struktury úzce zaměřují na svoji vymezenou oblast činností, a často přehlížejí potřeby útvarů, se kterými mají spolupracovat na identickém finálním výrobku pro zákazníka (zaměření na efektivnost a optimalizaci dílčích složek procesu).

Procesní přístup řízení podle **Šmídy** (2007) představuje systémy, postupy, metody a nástroje trvalého zajištění maximální výkonnosti a neustálého zlepšování podnikových i mezipodnikových procesů. **Váchal a Vochozka** (2013) uvádí, že procesní přístup řízení zvyšuje flexibilitu podniků ve vztahu přizpůsobit se měnícím podmínkám. Hlavním kritériem měření výkonnosti jednotlivých procesů je vytvořená hodnota pro zákazníka (**Vlček**, 2002).

Porterův hodnototvorný řetězec představuje jednu z prvních koncepcí procesního přístupu řízení (**Tomek a Vávrová**, 2012). Dle **Popesca** (2009) vychází z těchto premis hodnototvorného řetězce:

- podnikové činnosti transformují vstupy ve výstupy, kterým přidávají určitou hodnotu vnímanou zákazníkem,
- řetězec činností, které jsou v rámci přeměny vstupů na výstupy vykonávány, je označován jako hodnototvorný řetězec (value chain).



Obrázek 1 Porterův hodnototvorný řetězec (Porter, 1994)

Z obrázku 1 je patrné, že výrobní podnik realizuje tyto základní primární činnosti, které jsou vykonávány za účelem provádění hlavní činnosti:

- **vstupní logistika** (inbound logistics) – činnosti spojené s nákupem vstupů pro daný výrobek (nákup, skladování materiálu...),
- **výroba** (operations) – činnosti spojené s výrobním procesem (výroba výrobku, přestavování strojů, údržba strojů...),
- **výstupní logistika** (outbound logistics) – činnosti spojené se skladováním hotových výrobků a distribucí kupujícím (skladování, manipulace, přeprava...),
- **marketing a prodej** (marketing and sales) – činnosti, které mají kupujícím umožnit koupit si daný výrobek (reklama, propagace, stanovení cen...),
- **služby** (services) – činnosti spojené se zvýšením hodnoty výrobků (opravy, servis, náhradní díly...).

Řetězec je doplněn 4 podpůrnými činnostmi, které jsou nezbytné pro efektivní výkon primárních činností:

- **infrastruktura** (infrastructure) – činnosti, které pomáhají celému řetězci, jsou to např. účetnictví, právní služby, řízení jakosti,
- **řízení lidských zdrojů** (human resource management) – činnosti spojené s náborem, výcvikem a vzděláváním zaměstnanců,

- **technologický rozvoj** (technology development) – jedná se např. o návrhy nových výrobků či pracovních postupů,
- **obstaravatelské činnosti** (procurement) – činnosti spojené s posouzením vhodných nových dodavatelů, výkonnosti dodavatelů atd.

Primární činnosti přidávají výrobku nebo službě hodnotu, kterou je zákazník ochoten zaplatit. Naopak podpůrné činnosti nepřidávají hodnotu výrobku, přinášejí pouze náklady a časové ztráty. Slouží pouze k podpoře primárních činností.

Podle **Portera** (1994) jsou rozdíly mezi hodnototvornými řetězci organizací a jejich výkonností klíčovým zdrojem jejich konkurenční výhody a tvrdí: „*Tím, že bude podnik tyto strategicky důležité činnosti dělat levněji a lépe než jeho konkurenti, získá konkurenční výhodu*“.

Tichá a Hron (2002) charakterizují výrobní podnik a jeho procesy jako probíhající řadu dílčích činností, které společně ovlivňují pozici výrobního podniku ve vztahu k zákazníkům i ostatním konkurentům.

Autoři **Robbins a Coulter** (2004) definují hodnototvorný řetězec jako soubor činností, které přidávají hodnotu výrobku, počínaje zpracováním materiálu, až po doručení výrobku zákazníkům.

Autoři **Kaplan a Norton** (2005) považují hodnototvorný řetězec za jeden z faktorů ovlivňující hodnotu pro zákazníky.

Dle **Zeleného** (2006) je součástí hodnototvorného řetězce také řízení informačních systémů, nákup vstupů, rozvrh a plán výroby, zpracování objednávek, řízení zásob, skladování, služba zákazníkům, zpětný výkup obalů a materiálu atd. a tyto funkce nesmí být prováděny separátně, ale jako celek – jako plně integrovaný systém.

Janse Van Rensburg (2006) hodnotí analýzu hodnototvorného řetězce jako efektivní nástroj, jak vytvořit maximální hodnotu pro zákazníky.

Řízení hodnototvorného řetězce představuje řízení všech procesů v rámci organizace, od vývoje výrobku, zajištění surovin, výrobu a distribuci výrobku zákazníkovi, včetně poskytnutí nezbytného servisu (**Tuček, Hrabal a Trčka**, 2014).

Tomek a Vávrová (2014) zdůrazňují, že pomocí hodnototvorného řetězce lze dosáhnout maximalizace užitku pro zákazníka při minimalizaci nákladů. Dle autorů spolupráce mezi jednotlivými částmi hodnototvorného řetězce je klíčovým prvkem zvyšování konkurenceschopnosti.

Dle autorů **Tomka a Vávrové** (2014) je výrobní proces rozhodující část hodnototvorného řetězce. „*Bez jeho efektivního fungování by nejen nebylo možno realizovat*

to, co je výsledkem marketingového poznání, tzn. dosáhnout konkurenční výhody a zajistit ekonomickou existenci firmy“ (Tomek a Vávrová, 2014, s. 26).

Obecně lze shrnout, že zákazník představuje koncový článek hodnototvorného řetězce a výrobní podnik se musí přizpůsobit jeho potřebám. Je tedy nutné znát, identifikovat a řídit hodnototvorné procesy ve výrobním podniku. Pro výše uvedené je nutné:

- identifikovat hodnototvorné procesy a alokovat potřebné zdroje,
- eliminovat procesy, které nepřidávají hodnotu,
- outsourcovat vedlejší procesy,
- strukturálně podchytit řízení změn,
- zavést princip neustálého zlepšování procesů,
- požadovat vysoký standard kvality,
- využít informační technologie pro podporu procesů.

Jako další vhodné metody pro identifikaci podnikových procesů lze jmenovat Balanced Scorecard, kterému se věnují například autoři **Kaplan** a **Norton** (2010). Dále rozdělení procesů podle Earla, procesní trojúhelník Edwardse a Pepparda, či model Y profesora Scheera, této problematice se věnují **Hromková** a **Holočiová** (2005).

V rámci hodnototvorného řetězce je třeba významnou pozornost věnovat problematice nákladové náročnosti. V posledních desetiletích stoupá důležitost klasifikace nákladů z pohledu manažerského rozhodování, neboť nastaly změny ve výrobních procesech (snížení podílů materiálových nákladů, nárůst automatizace, nárůst režijních činností, jako například právní služby, řízení jakosti atd.), které poznamenaly nákladovou strukturu firem. **Popesko** (2009) uvádí, že stále více roste podíl režijních nákladů na úkor nákladů jednicových; v současné době podíl režijních nákladů činí více jak 30 % celkových nákladů.

V této souvislosti s rozhodovacími procesy ve výrobním podniku je třeba vymezit především tyto kategorie nákladů:

Relevantní náklady (relevant costs) se mění v závislosti na přijetí nebo nepřijetí daného (manažerského) rozhodnutí (**Popesko**, 2009).

Irelevantní náklady (irrelevant costs) zůstávají neměnné bez ohledu na to, která varianta daného manažerského rozhodnutí bude přijata. Cílem je eliminovat zkresení, která mohou do rozhodovacího procesu přinést irrelevantní náklady (**Popesko**, 2009).

Fixní náklady jsou náklady, které se nemění v určitém rozsahu prováděných výkonů (**Král** et al., 2003).

Variabilní náklady jsou náklady, které se mění v závislosti na objemu výkonů (**Král** et al., 2003).

Pro účely této disertační práce je třeba zmínit ještě účelové členění nákladů. Z tohoto úhlu pohledu lze členit náklady na jednicové a režijní.

Jednicové náklady jsou technologické náklady, které souvisejí nejen s technologickým procesem jako celkem, ale přímo s jednotkou dílčího výkonu (**Král et al., 2003**).

Režijní náklady jsou technologické náklady, které souvisí s technologickým procesem jako celkem, nerostou přímo úměrně s počtem provedených výkonů (**Král et al., 2003**).

1.1 Analýza současného stavu v ČR

Jak již bylo zmíněno výše, významnou součástí hodnototvorného řetězce jsou výrobní a logistické činnosti, kterým je věnován prostor v této kapitole. Disertační práce se zaměřuje především na hodnototvorný proces od výroby přes fyzickou distribuci k zákazníkům. Proto v následující kapitole bude věnován prostor zejména problematice výrobního procesu a výstupní logistice (distribučnímu procesu) v České republice.

1.1.1 Výrobní procesy

Výroba slouží jako prostředek uspokojování potřeb trhu a zákazníka (**Jurová et al.**, 2013). Současně to je vědomý proces transformace výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které jsou pak spotřebovány (**Váchal a Vochozka**, 2013). Autoři považují za obecný výsledek transformace produkt, který může být buď hmotný (výrobek) nebo nehmotný (služba).

Makovec et al. (1998) chápou výrobu jako proces přeměny a přizpůsobování zdrojů, vstupujících do výrobního systému, směřující k tvorbě hmotných statků nebo služeb.

Synek (2007) se zaměřuje na zdroje snižování nákladů ve výrobním procesu a uvádí: *„Kalkulační členění nákladů říká, na co byly náklady vynaloženy. Toto hledisko je pro podnik rozhodující; umožňuje zjistit rentabilitu jednotlivých výrobků a služeb a řídit výrobovou strukturu, neboť jednotlivé výrobky přispívají různou měrou k tvorbě zisku podniku“* (**Synek**, 2007, s. 54).

Grulich (2008) formuluje výrobní proces jako systém výrobních, skladovacích, dopravních a manipulačních operací, které se na určitém výrobním útvaru podílejí na výrobě daného výrobku. Dle něho je tento výrobní proces potřeba řídit, neboť proměnlivost procesů brzdí výrobní podnik v konkurenceschopnosti a ziskovosti.

Synek a Kislingerová (2010) uvádějí, že výrobní proces hledá takovou kombinaci výrobních faktorů, aby náklady byly co nejnižší. Takovou výrobu označují jako štíhlá výroba.

Tomek a Vávrová (2014) uvádějí, že výroba slouží obecně k vytváření materiálních i nemateriálních statků, které odpovídají tržní poptávce.

1.1.2 Řízení výrobního procesu

Výrobní podniky čelí silícímu tlaku na snížení výrobních nákladů. Jsou nuceny stále více optimalizovat své výrobní procesy a zvyšovat produktivitu práce a využití strojů, materiálů a pracovního kapitálu.

Základním předpokladem pro zlepšování výrobních procesů je jejich znalost (**Váchal a Vochozka**, 2013). Lze pak lépe dosáhnout nastavených cílů. Těchto cílů musí procesy dosahovat efektivně, tzn. s nejmenšími náklady a nejvyšší přidanou hodnotou.

Tomek a Vávrová (1999) uvádějí, že řízení výroby nelze v žádném případě chápat jako fyzický produkční systém, ale jako systém pojmů a nástrojů výrobního managementu.

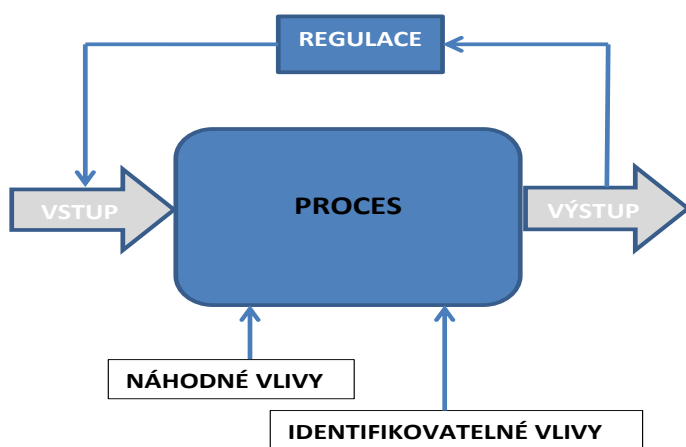
Kavan a Vávrová (2002) se nezaměřují pouze na řízení výroby, ale zejména na zvýšení produktivity ve výrobním procesu.

Jurová et al. (2013) charakterizují výrobní proces jako kapacitně vyhovující, s fungující logistikou, vybavenou vhodnou technologií, zajišťující požadovanou jakost, s cílem snižování výrobních nákladů atd.

Každý výrobní proces je ovlivňován řadou vlivů. Tyto vlivy dle **Vebera** (2007) jsou:

- náhodné,
- identifikovatelné.

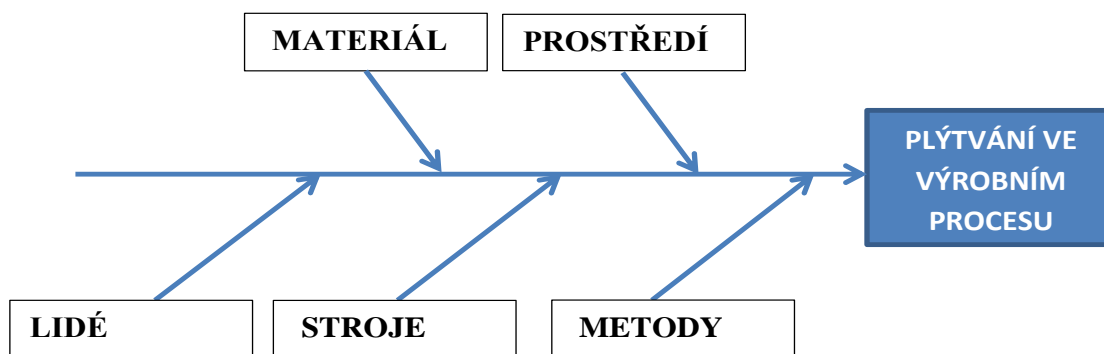
Výrobní podnik musí umět řídit své výrobní procesy, kde řídí identifikovatelné vlivy a minimalizují náhodné vlivy. Obrázek 2 obecně popisuje výrobní proces. **Fiala** (2006) zkoumá náhodné vlivy působící na výrobní proces.



Obrázek 2 Výrobní proces (Fiala, 2006, upraveno autorem)

Obecně lze říci, že proces je účinný tehdy, pokud jeho výstup dosahuje plánovaných a požadovaných parametrů. Naproti tomu je proces efektivní, pokud je dosaženo všech požadovaných a plánovaných parametrů přidané hodnoty, kterou zákazník ocení.

Obrázek 3 ukazuje diagram rybí kosti, což je velmi jednoduchá metoda, která může sloužit k řešení strukturovaných problémů (např. identifikaci míst „plýtvání“ ve výrobním podniku).



Obrázek 3 Diagram rybí kost (Ishikawa, 1990)

Cílem výrobního podniku je být flexibilní, vyrábět levně a kvalitně. Snaží se tedy odstranit všechny činnosti, které nepřidávají hodnotu pro zákazníka. **Baťa** (2013) o hodnotě pro zákazníka prohlásil, že čas nevyužitý na přeměnu materiálu na konečný výrobek je časem ztraceným.

Plánování a řízení výrobního procesu je klíčová oblast pro podnikové informační systémy. V současnosti jsou známy tři základní typy výrobních systémů (procesů). Jedná se o push systém, pull systém a jejich kombinace (**Tomek a Vávrová**, 2014). Tyto systémy definují výchozí podmínky a omezení podnikové logistiky.

V současnosti se ve výrobních podnicích pro plánování výroby a materiálu používají ERP aplikace s MRP nebo APS plánovacím algoritmem. Rozdíl mezi těmito algoritmy je v tom, že MRP ignoruje při výpočtu obsazenost zdrojů, zatímco APS toto zohledňuje a dokáže vypočítat realisticky čas splnění zákaznického požadavku a optimalizovat čas zahájení a ukončení výroby metodou zpětného plánování (**Tilkeridis**, 2013).

1.1.3 Nástroje na řízení výrobních procesů

Na řízení výrobních procesů lze pohlížet z více pohledů. **Tomek a Vávrová** (2014) vymezují skupinu normativů, jejichž cílem je stanovit optimální průběh výrobního procesu a stabilizovat ho po určité období. Jedná se o definování výrobních procesů z časového a věcného průběhu: takt, rytmus, výrobní předstih, průběžná doba výroby, výrobní dávka, normy zásob, jakostní třídy, atd.

Disertační práce se bude dále věnovat pouze vybraným nástrojům řízení výrobních procesů, především problematice výrobních dávek a zejména štíhlé výrobě výrobních procesů, neboť nejvíce souvisí s tématem disertační práce.

Optimální výrobní dávka

Výrobní dávka je množství výrobků (součástí, částí výrobků atd.) zadávaných do výroby společně (Váchal a Vochozka, 2013). Vliv velikosti výrobních dávek na plánování výroby zobrazují obrázky 4 a 5.

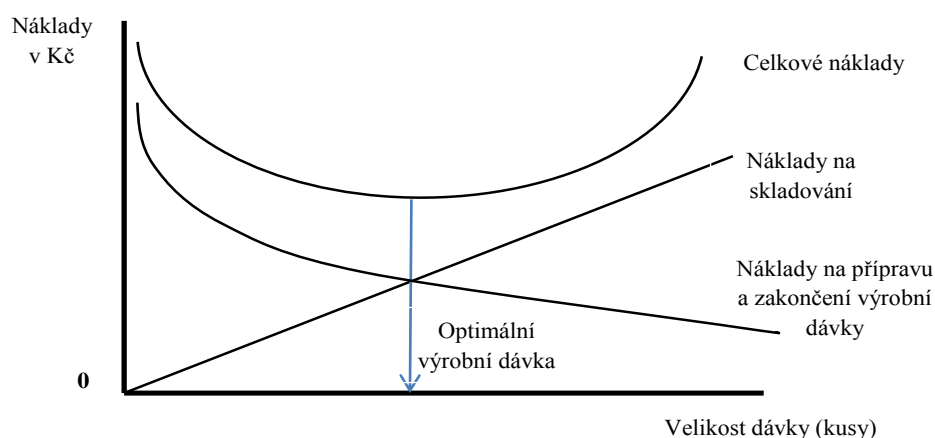
Zvyšování výrobních dávek	
Pozitiva	Negativa
Méně seřizování	Vyšší skladová zásoba
Vyšší využití kapacit	Pomalá reakce na změnu
Jednodušší řízení	Oddálení zjištění neshody

Obrázek 4 Zvyšování výrobních dávek (Tomek a Vávrová, 2000, upraveno autorem)

Snižování výrobních dávek	
Pozitiva	Negativa
Flexibilní výroba	Více seřizování
Rychlý cash flow	Vyšší nároky na koordinaci
Nízká skladová zásoba	Nižší využití kapacit

Obrázek 5 Snižování výrobních dávek (Tomek a Vávrová, 2000, upraveno autorem)

Za optimální velikost výrobní dávky označují Synek a Kislingerová (2010) takové výrobní množství, při kterém jsou celkové jednotkové náklady minimální. Řeší tedy kompromis mezi snižováním fixních nákladů na kus při zvyšování velikosti dávky a naopak zvyšováním nákladů na skladování, popř. zvyšováním vázanosti kapitálu (Tomek a Vávrová, 2000). Grafické znázornění optimální výrobní dávky je na obrázku 6.



Obrázek 6 Princip optimalizace výrobní dávky (Synek a Kislingerová, 2010)

Optimální výrobní dávku tak určuje vztah (1):

$$OVD = \sqrt{\frac{2q \cdot N_{pz}}{N_j \cdot N_z \cdot t}} \quad (\text{ks}) \quad (1)$$

kde:

OVD – optimální výrobní dávka v kusech,

q - plánovaný objem výroby v kusech za uvažované období,

N_{pz} – náklady na přípravu a zakončení výrobní dávky,

N_j – jednicové náklady na jeden kus,

N_z – roční náklady na skladování a udržování v halách na 1 Kč průměrné zásoby,

t - časové období vyjádřené zlomkem roku.

Synek (2007) se zabývá otázkou snižování výše zásob v návaznosti na snižování velikosti výrobních dávek. Uvádí, že pro eliminaci zásob nedokončené výroby je třeba snižovat velikost výrobních dávek. Tím sice klesají náklady na skladování a udržování zásob, ale zároveň významně rostou náklady přechodu na jinou výrobní operaci.

Principy štíhlé výroby

Štíhlá výroba není štíhlá proto, že by se zbavovala určitých činností, ale proto, že se dokáže účinně zbavovat všech nečinností, ztrát, které nepřidávají hodnotu pro zákazníka, ale jen zvyšují náklady. Dle **Bauera a Haburaiové** (2015) je základním principem moderní výroby a administrativy důraz na přidávání hodnoty a odbourávání všeho plýtvání.

Štíhlou výrobu lze charakterizovat (**Váchal a Vochozka**, 2013):

- eliminace všech činností, které nepřidávají hodnotu pro zákazníka,
- snaha o rychlý a plynulý tok výrobků podnikovými procesy,
- řízení hodnototvorného toku požadavky externích a interních zákazníků (tažný systém),
- pružná reakce na měnící se situaci na trhu.

Synek (2007) vymezuje štíhlost a bezztrátovost procesů na úplné eliminaci ztrát – úplném JIT. Štíhlá výroba je zaměřena na 7 druhů ztrát (**Liker**, 2007):

- nadprodukce,
- čekání,
- přeprava,
- zpracovatelské ztráty,
- zásoby,

- pohyb,
- výroba a přepracování vadných výrobků.

Pokud výrobní proces není štíhlý:

- vzniká nadprodukce; tato nadprodukce váže kapitálové prostředky, zabírá prostor a je nutné ji skladovat, manipulovat, evidovat apod.,
- rostou doby čekání v jednotlivých fázích procesu, což zvyšuje náklady na proces samotný (nejenom výrobní proces),
- roste přeprava, respektive nutnost přemístování výrobků a jejich dočasné skladování,
- rostou zásoby, které jsou těsně spjaty s nadprodukcí; hromadění nadměrných zásob lze zabránit především snižováním velikosti výrobních a transportních dávek.

Disertační práce vychází z principů štíhlé výroby a ze 7 druhů ztrát podle Toyoty. Autor se chce zaměřit na činnosti, které odstraňují plýtvání a jsou dle principu štíhlé výroby. Tyto principy budou dále rozpracovány v následujících částech práce.

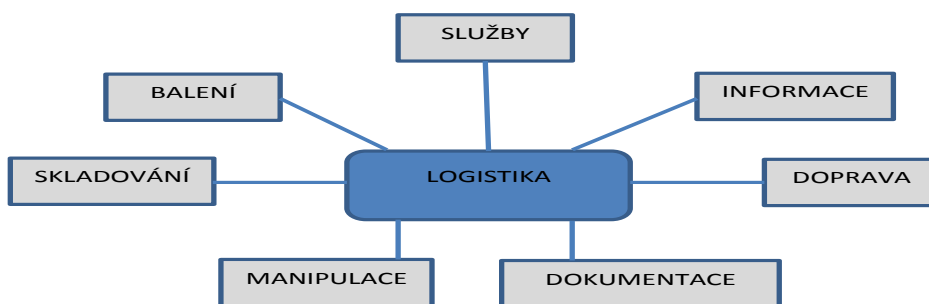
1.1.4 Logistika jako součást hodnototvorného řetězce

Disertační práce se zaměřuje především na výrobu a výstupní logistiku (distribuční proces), nicméně logistické náklady prostupují celým hodnototvorným řetězcem. V této kapitole je pozornost tedy věnována jak logistickým nákladům jako celku, tak nákladům výstupní logistiky.

Logistika je popisována velkým množstvím definic, které jsou neustále upravovány a doplňovány o nové poznatky a zkušenosti z praxe. Dle **Pernici** (1994) je definována jako systémová disciplína zabývající se celkovou optimalizací, koordinací a synchronizací všech činností, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu.

Dle **Drahotského** a **Řezníčka** (2003) je logistický řetězec provázaná posloupnost všech činností, jejichž uskutečnění je nutnou podmínkou k dosažení daného konečného efektu synergické povahy. Logistický řetězec představuje všechny činnosti, které probíhají od získání surovin po přechod finálních výrobků do spotřeby *mimo vlastní výrobní proces*.

Pro autory **Sixtu** a **Žižku** (2009) představuje logistika efektivní rozmístění zdrojů v čase. Znamená to strategické řízení celého dodavatelského řetězce, kde zahrnuje všechny činnosti nutně realizované pro zajištění předání výrobku nebo služby konečnému zákazníkovi.



Obrázek 7 Logistické činnosti (Štůsek, 2005, upraveno autorem)

Logistika tedy synchronizuje činnosti (obrázek 7), které zajistí pohyb mezi místem výroby a místem spotřeby. Celkové logistické náklady zahrnují dopravní náklady, manipulační náklady, skladovací náklady, náklady balení, náklady zpracování objednávky (objednací náklady), náklady na evidenci, náklady zahájení provozu a náklady výdeje zásob.

Logistika s nejmenšími celkovými náklady je stav, kdy se při dosažení stanovené úrovně zákaznického servisu minimalizuje součet všech logistických nákladů (Sixta a Žižka, 2009).

1.1.5 Logistické systémy

Cílem logistických systémů je utvářet a pozitivně ovlivňovat logistiku v souladu se základními logistickými cíli výroby na zakázku. Sixta a Žižka (2009) zdůrazňují, že jen systémové řešení logistického procesu umožňuje efektivně sladit požadavky ekonomické výroby s pružným uspokojováním potřeb zákazníků.

Společně s rozvojem moderní logistiky vznikly (a nestále vznikají a rozvíjí se) různé logistické systémy. Mezi nejznámější a nejdůležitější systémy můžeme zařadit Kanban a JIT.

Pojem **Kanban** pochází z japonštiny (v překladu: štítek, etiketa), kde se stal symbolem změny myšlení v řízení výroby. Tato změna vychází z přechodu od řízení tlakem (tradiční výrobní systémy) k řízení tahem (moderní výrobní systémy). Autoři Sixta a Žižka (2009, s. 124) vymezují Kanban takto: „Jedná se o bezzásobovou technologii vyvinutou firmou Toyota Motors, která se osvědčuje především pro ty díly, které se používají opakovaně. Využívá se zde tzv. tažný princip, kdy následný děj (spotřeba polotovaru) řídí děj předchozí (výroba polotovaru).“

Princip spočívá v tom, že výrobky jsou výrobním procesem „taženy“ tak, jak požaduje montáž, a to bez zbytečné rozpracovanosti a nadbytečných skladů a meziskladů. Je

zaměřen na eliminaci všech skladů a signalizaci výše stavu zásob. Veškerá pravidla vychází z Kanban karty.

JIT je systém, jejímž cílem je minimalizace všech ztrát v celém výrobním procesu (od nákupu materiálu až po distribuci výrobků k zákazníkům). Princip spočívá ve výrobě výrobků v požadované kvalitě a množství. Nutností jsou koordinované činnosti celého výrobního procesu takovým způsobem, že se zásoby stávají zbytečnými. Charakteristická je výborná (prověřená) kvalita dodávaných materiálů, maximální spolehlivost dodávek a dokonalá informovanost obou stran. **Sixta a Žižka** (2009) uvádí princip JIT:

- plánování a výroba na objednávku,
- výroba v malých výrobních dávkách,
- plynulý tok ve výrobním procesu – snaha o eliminaci ztrát,
- vysoká kvalita výrobků,
- aktivní přístup pracovníků,
- kontrola procesu v dlouhodobém horizontu.

Obrázek 8 zobrazuje výhody a nevýhody systému JIT z více hledisek (výrobní, logistické a finanční).

Výhody JIT	Nevýhody JIT
Vyšší produktivita	Nedostatečně rozvinutá infrastruktura
Zkrácení doby cyklu výroby	Nárůst rozsahu přepravy menších zásilek s větším počtem nákladních automobilů
Snížení zásob (surovin, rozpracované výroby, hotových výrobků)	Podíl na neprůjezdnosti na silnicích a dálnicích
Rychlejší obrátka zásob	Časová náročnost spedičního a celního odbavení na hranicích v mezinárodních logistických řetězcích
Úspora výrobních a skladových ploch	Hladina pro objednání je tvořena na základě historické poptávky
Včasné dodávky zákazníkům	Zatížení životního prostředí

Obrázek 8 Výhody a nevýhody systému JIT (Kosová, 2012, upraveno autorem)

Jako další logistické systémy lze uvést Quick Response, Efficient Consumer Response neboli efektivní reagování na přání zákazníka, Hub and Spoke, Cross-Docking či automatická identifikace (**Sixta a Mačát**, 2005).

1.1.6 Distribuční (výstupní) logistika

Distribuční logistika (outbound logistics) představuje spojovací článek mezi výrobou a odbytovou částí výrobního podniku (Kyncl, 2008). Jedná se o spojovací článek mezi místem výroby a místem spotřeby s cílem dodat výrobky na správné místo v požadovaném čase, množství, ceně a kvalitě.

S distribuční logistikou souvisí i pojem *distribuční řetězec*. Autoři Stehlík a Kapoun (2008) charakterizují distribuční řetězec jako část logistického řetězce, jež začíná odbytovým skladem výrobce, pokračuje přes mezičlánky ke konečnému spotřebiteli. Jeho cílem je pak vytvoření na sebe navazujících nebo souběžně probíhajících činností, jež jsou schopny zabezpečit maximální informovanost všech článků v řetězci a rychlou průchodnost daného výrobku spolu s minimálními náklady.

Distribuční řetězec musí dle Kyncla (2008) zabezpečovat tyto základní funkce:

- kompletace zboží,
- přepravní funkce,
- skladovací funkce,
- manipulační funkce,
- komunikační funkce.

Skladovací funkce souvisí se systémem vytváření zásob a řízením nákladů na zásoby. Skladování tvoří spojovací článek mezi výrobcem a zákazníkem, je jednou z nejdůležitějších částí logistického řetězce.

Skladovací náklady vznikají v procesu skladování a uskladnění výrobků a jsou ovlivněny výběrem místa výrobních kapacit a skladů podniku. Zásadním strategickým rozhodnutím podniku je tedy určení lokality pro výrobní kapacity a sklady podniku.

Kucharčíková (2011, s. 138) se zabývá činnostmi, které „*předpokládají optimální výši zásob, která je determinována jeho velikostí, druhem a rozsahem jeho činností, charakterem technologického procesu, situací na trhu surovin a trhu výrobků, vzdáleností od zdroje surovin, způsobem přepravy a dalšími faktory.*“

Zásoby na sebe váží velký podíl kapitálu výrobního podniku, který pak díky této skutečnosti ovlivňuje financování. **Jurová** (2013) upozorňuje, že manažeři výrobních podniků musejí hledat odpověď na otázku „*Proč je v našem podniku vázáno v zásobách tolik kapitálu?*“. Snaha všech výrobních podniků je strukturovat procesy tak, aby bylo možné zásoby snižovat a přitom neohrožovat efektivní hospodaření podniku, neboť zásoby v sobě nesou riziko znehodnocení, nepoužitelnosti a neprodejnosti.

Podle stupně zpracování se zásoby dělí na výrobní zásoby, zásoby rozpracovaných výrobků a zásoby hotových výrobků (**Sixta a Žižka**, 2009).

Dle **Mazánka** (2009) zásoby musí plnit:

- *Geografickou funkci*, kde místo výroby a spotřeby je ve většině případů odlišné. Umožňují tedy optimální lokalizaci (rozmístění) výrobních kapacit z hlediska zdrojů surovin, energií a pracovníků.
- *Vyrovňovací a technologickou funkci*, které zajišťují plynulost výrobního procesu, umožňují zefektivnit výrobní dávky a shromažďují je v ekonomicky výhodných objemech, případně eliminují náhodné a nepředvídatelné výkyvy.
- *Spekulativní funkci*, která může přinést výrobnímu podniku konkurenční výhodu.

Kvalita řízení zásob má významný vliv na hospodaření provozu. **Štůsek** (2007) označuje zásoby jako všechny suroviny, součástky, polotovary a hotové výrobky včetně náhradních dílů, které procházejí podnikem. Kvalitnějším řízením zásob v podniku lze docílit zejména zlepšení cash-flow spolu s návratností investic.

Štůsek (2007, s. 83) k řízení zásob dodává: „*Řízení zásob představuje soubor činností zaměřených na prognózování, analyzování, plánování a operativní řízení jak jednotlivých skupin zásob, tak i celkových zásob za účelem splnění podnikových cílů při minimálních nákladech spojených s hospodařením se zásobami. Cílem řízení zásob je jejich stále udržování na takové úrovni a v takové struktuře, aby byla zabezpečena nepřerušovaná a rytmická činnost logistického systému a zajištěna plynulost a úplnost dodávek při minimalizaci nákladů.*“

Teorii zásob lze charakterizovat jako souhrn matematických metod používaných k modelování a optimalizaci procesů vytváření zásob různých položek s cílem zabezpečit plynulý chod podniku. Pro optimalizaci skladového hospodářství lze dle **Lamberta a Ellramové** (2000) využít analytické metody pro určení optimální velikosti zásob (či velikosti skladu), jako např. ABC analýzu, predikční metody na základě trendu poptávky, analýzu velikosti balení a systému slev, podporu substituce výrobků, analýzu dodacích dob a celkové doby doplňování zásob atd.

Přepavní funkce je jedna z nejdůležitějších součástí distribučního řetězce. V praxi se používá **přímá distribuce** (dodávky přímo zákazníkovi), která více vyhovuje pro omezený počet zákazníků v blízkosti výrobce a **nepřímá distribuce**, která využívá mezičlánek mezi výrobcem a zákazníkem (**Stehlík a Kapoun**, 2008).

Distribuce reprezentuje část logistického řetězce zaměřenou na pohyb výrobků z místa vzniku, tj. výrobního podniku, do místa konečného užití, tzn. spotřeby zákazníkem (**Štůsek**, 2007). Pro úspěšný výrobní podnik je podstatný úkol distribuce v procesu plnění objednávek tak, aby byly splněny definované požadavky zákazníka. **Svoboda** (2006) tvrdí, že přístupy k optimalizaci dopravy jsou řešeny z hlediska nákladů, kvality a podílu na vytváření synergického efektu systému.

Současné počítačové systémy umožňují zohlednit velké množství vstupních požadavků a kritérií, dokáží navrhnout rozvozové a svozové trasy, rozmístění distribučních center na dané síti, či zpracovávat podrobnou evidenci a analýzu jednotlivých složek distribučních nákladů.

Stanovení efektivní struktury systému distribuce stále představuje aktuální problém pro řadu tuzemských firem. Důvodem je velké množství různých faktorů, které ovlivňují výkonnost distribučního systému jednak z hlediska kvality služeb poskytovaných zákazníkům a také z pohledu nákladů, které při distribuci vznikají.

Dle **Mockové** (2013) lze využít lokační úlohy pro optimální rozmístění středisek obsluhy na síti vzhledem k požadavkům na obsluhu. Umístění je optimalizováno z hlediska optimalizačních kritérií.

Volek (2002) uvádí, že existuje celá řada lokačních úloh a jejich modifikací. Podle toho, jaký má účelová funkce tvar, dělí autoři **Cempírek**, **Kampf** a **Široký** (2009) lokační problémy na pokrývací problémy a problémy lokace mediánu.

Lukšů (2001) popisuje optimalizaci distribučních nákladů pomocí úlohy nalezení nejkratší cesty. Pod tímto pojmem si lze představit cestu spojující dvě místa v prostoru tak, že cesta vede co možná nejpřímočařeji od startu k cíli.

V dopravních aplikacích se tato úloha nejčastěji zmiňuje v souvislosti s optimalizací tras vozidel v rámci svozových nebo rozvozních úloh, neboť optimalizace rozvozu nebo svozu výrobků je zásadní otázkou pro celou řadu výrobních podniků.

Dle **Štůska** (2007) se řízení distribuce musí zaměřit zejména do těchto oblastí:

- strategie poskytování služeb zákazníkům,
 - stanovení úrovně služeb,
 - forma komunikace se zákazníkem,
- struktura distribučního kanálu,
 - forma budování distribučního kanálu,
 - výběr partnerů pro distribuci,
 - lokalizace distribučních center apod.,

- formy manipulace a dopravy logistického produktu v distribučním kanálu,
- realizace dopravy (vlastní či cizí režie),
- vhodnost technologie pro dopravu daného produktu.

1.1.7 Vztah mezi výrobními procesy a dopravními náklady

Dle **Oravy** (2010) nelze dopravu chápat pouze jako národohospodářské odvětví (makroekonomické hledisko), případně výhradně jako komerční činnost dopravního podniku (mikroekonomického hledisko). Z makroekonomického hlediska je doprava řízena a regulována pomocí dopravní politiky, jejímž cílem je zajistit fungování a rozvoj dopravy jako ekonomicky efektivního systému. Z mikroekonomického pohledu se dopravní podnik zaměřuje na (**Svoboda**, 2006):

- produktivitu (využití dopravních prostředků),
- rentabilitu (ekonomická efektivnost činností),
- hospodárnost (snahu o minimalizaci užití zdrojů – dopravní prostředky, energie, pracovní kapitál...).

Disertační práce nepřistupuje k dopravním nákladům z čistě ekonomického pojetí, ale z hlediska hodnototvorného řetězce, kde dopravní náklady tvoří jednu z nejdůležitějších částí logistických nákladů. Dopravní náklady v rámci hodnototvorného řetězce vznikají ve vstupní logistice, výrobě i výstupní logistice. Disertační práce se zaměřuje v hodnototvorném řetězci především na výrobu a výstupní logistiku, v tomto kontextu je nutné brát v úvahu zejména dopravní náklady spojené s fyzickou distribucí hotových výrobků k zákazníkům.

1.2 Analýza současného stavu v zahraničí

V následující kapitole bude zhodnocen současný stav problematiky výroby a výstupní logistiky v zahraničí. Kapitola se zaměřuje zejména na výrobní procesy, jejich řízení a optimalizaci výrobních procesů s využitím metody Lean Six Sigma, která je velmi rozšířená v zahraničí. Je zde věnován prostor koordinaci výrobního procesu a distribuci.

1.2.1 Výrobní procesy

Zahraniční literatura přistupuje k výrobním procesům podle typu výroby v závislosti na odběru produkce. Obecně lze jmenovat čtyři typy (**Rajput**, 2008):

1. *Výroba na sklad (make-to-stock)*

Vytváří se skladové zásoby na základě predikce očekávaných objednávek od zákazníků. Většina výrobků, například konzervované potraviny, spotřební elektronika, knihy nebo koupelňová technika, jsou vyráběny právě tímto způsobem. **Han** et al. (2014) se zabývají problematikou skladových zásob. Snaží se reagovat na neurčitou poptávku optimalizací výrobních dávek.

2. *Výroba na zakázku (production-to-order)*

Tento přístup je obvykle využíván při výrobě výrobků, které mají vysoké náklady na skladování, nebo je třeba tyto výrobky sestavovat na přání zákazníka. K takovýmto výrobkům patří například drahé dopravní prostředky (letadla) nebo investiční celky v podobě výrobních zařízení (strojní automaty). **Tasnádi** (2004) ve své studii porovnává systém výroby na sklad se systémem výroby na zakázku a dochází k závěru, že výroba na zakázku je levnější. Autoři **Bulut, Stevenson a Hendry** (2015) se zabývají problematikou spojení informačního systému výrobních podniků s výrobním systémem výroby na zakázku. **Yu** et al. (2015) se snaží pomocí výroby na zakázku minimalizovat celkový čas potřebný na výrobu tím, že jednotlivé činnosti jsou řízeny jako celek.

3. *Montáž na zakázku (assembly-to-order)*

Jedná se o využití výhod kombinace výroby na zakázku a výroby na sklad. Konečný výrobek je kompletován podle specifické objednávky z vybraných komponent, které byly vyráběny na sklad (například osobní počítač).

4. *Inženýrské práce na zakázku (engineer-to-order)*

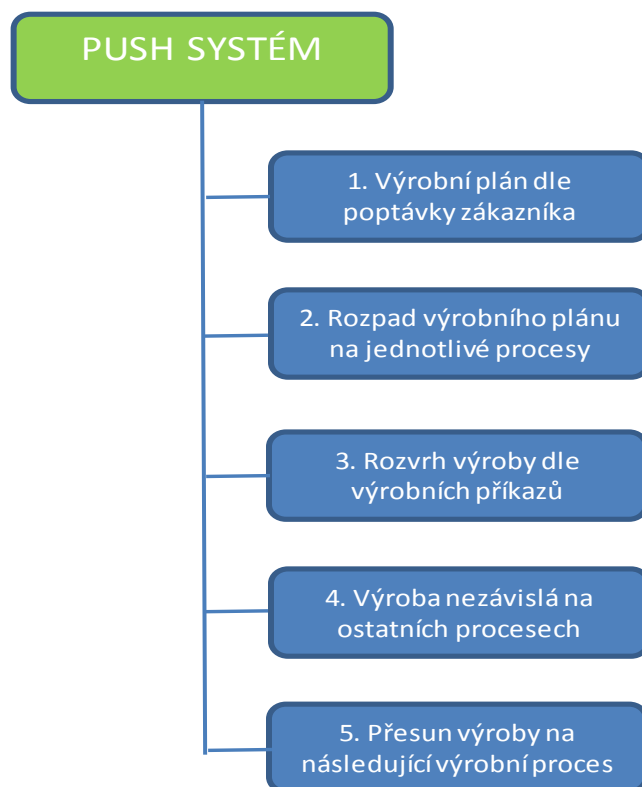
Zakázka není v okamžiku příjmu objednávky od zákazníka předem přesně technicky specifikovaná. Existuje pouze zevrubná představa o tom, jak bude výrobek vypadat. Práce na zakázce pak začíná návrhem řešení. Roční produkce se pak pohybuje v řádu desítek (speciální stroje) či jednotek (rozsáhlé investiční celky, například celé výrobní linky). Autoři

Husejnagic a **Sluga** (2015) poukazují na možnosti informačních technologií, které mohou pomoci snížit výši skladových zásob.

1.2.2 *Podnikové aplikace pro plánování a řízení výroby*

Plánování a řízení výrobního procesu je klíčová oblast pro podnikové informační systémy. V současné době existují na zahraničním (i českém) trhu moderní informační systémy, které poskytují svým uživatelům standardní řídicí metody, které zasahují především výrobní procesy, případně i ostatní navazující procesy.

Tlačná metoda řízení (push systém) je neregulovaným systémem, který produkuje tolik jednotek, kolik dokáže, a posílá je do dalšího procesu bez ohledu na to, zda je tento proces vůbec potřebuje. Podniky aplikující systém tlačené výroby se obvykle vyznačují nenavazujícím rozložením výrobních linek (**Imai**, 2004). Systém je graficky znázorněn na obrázku 9.



Obrázek 9 Tlačná metoda řízení (Imai, 2005, upraveno autorem)

Nejstarší tlačnou metodou je MRP (Material Requirement Planning), která je primárně zaměřena na řízení zásob materiálu, než pro plánování a řízení průběhu výroby. Metoda MRP se vyvíjela v USA od počátku 60. let minulého století.

Nejrozšířenější tlačnou metodou je koncept MRP II (Manufacturing Resource Planning). Jedná se o proces, na jehož vstupu se zadávají materiálové a kapacitní požadavky spolu s počátečním nebo koncovým termínem výroby. Systém rozplánuje výrobu podle zadaných požadavků. V západních podnicích (i v některých českých podnicích) se používá tento systém dodnes. Autoři **Zhang, Xie a Chen** (2013) porovnávají 17 metod včetně MRP, MRP II, TOC, JIT, Kanban z výrobního, kvalitativního a procesního hlediska a dospívají k těmto závěrům:

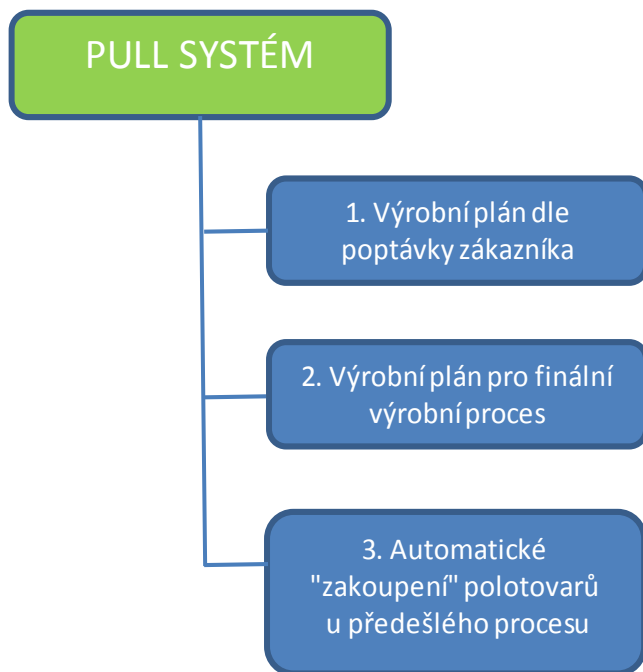
Výhody MRP II:

- sledování průběžných časů produkce,
- nízké skladové zásoby,
- generování variant řešení.

Nevýhody MRP II:

- obtížná reakce na změny,
- poruchy výrobního systému při nepřesných vstupních datech.

Obrázek 10 popisuje **tažnou metodu řízení** (pull systém) vycházející z principu, že následující výrobní stupeň se stává pro předcházející výrobní stupně interním zákazníkem, jehož požadavky musí být za všech okolností splněny (**Imai**, 2005). Tažná metoda má optimalizovaný výrobní tok (jednotlivé procesy na sebe fyzicky navazují ve stanoveném sledu výrobních fází) a je založen na poptávce zákazníka. Výhodou pull systému je výrazné snížení výrobních nákladů v důsledku snížení zásob rozpracované výroby a zkrácení průběžných dob výroby.



Obrázek 10 Tažná metoda řízení (Imai, 2005, upraveno autorem)

Tyto metody řízení reprezentuje JIT. Princip spočívá v tom, že výroba je iniciována zákazníkem. Všechny potřebné komponenty jsou taženy JIT výrobními procesy až k finální kompletaci výrobku a k předání zákazníkovi.

Velmi netradičně přistupují k push a pull systému autoři **Herakovic, Metlikovic** a **Debevec** (2014). Pomocí interaktivní hry, kde jsou zapojeni výrobní a řídicí pracovníci, se snaží prosadit daný systém do výrobního podniku. Hra vychází z více jak 50 výrobních prostředí v reálném čase. Účinky hry velmi motivují pracovníky k zavádění daných systémů do výrobních firem.

Kombinované metody řízení kombinují principy push a pull systému. Jedná se například o TOC (Theory Of Constraints). Zaměřuje se především na úzká místa výrobního procesu.

1.2.3 Nástroje na řízení výrobního procesu

Tato část práce je zaměřena na optimální výrobní rozvrh a zejména na zlepšování výrobních procesů metodou Lean Six Sigma.

Optimální výrobní rozvrh

Výrobní modely mohou být rozděleny dle charakteru poptávky, plánovacího horizontu, počtu výrobků, povahy výrobního systému, počtu kapacitně omezených zdrojů atd. Jednou z metod na řízení výrobních procesů je teorie výrobního rozvrhování. Existuje několik metod využívajících principů programování s omezujícími podmínkami k řešení

rozvrhovacích problémů (**Schaerf**, 1996; **Newall**, 1999; **Abdennadher** a **Marte**, 2000; **Ho** a **Ji**, 2007).

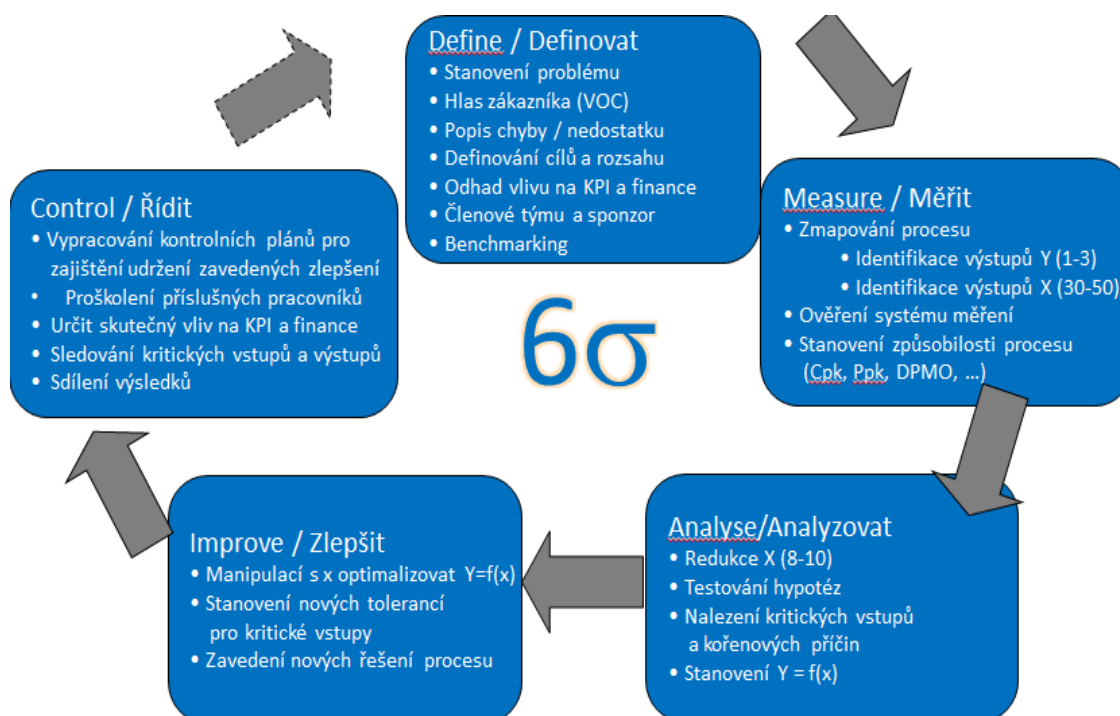
Zlepšování výrobních procesů metodou Lean Six Sigma

Jedná se o metodu či manažerskou filosofii, založenou na principu neustálého zlepšování výrobních procesů (**Mann**, 2014). Cílem této metody je plnit zákaznickou požadavky, tzn. vyrábět rychle, kvalitně a levně.

Antony et al. (2007) uvádějí, že jako první zavedla metodu společnost Toyota po 2. světové válce, kdy byla schopna vyrábět rychleji, levněji a hlavně kvalitněji, než její západní konkurenti. Duchovními otci této metodiky jsou Taichi Ohno a Shingeo Shingo. Jde o přístup k výrobě způsobem, kdy se výrobce snaží splnit požadavky zákazníka v maximální míře tím, že bude vyrábět jen to, co zákazník požaduje. Snaží se vytvářet výrobky v co možná nejkratší době a pokud možno s minimálními náklady, bez ztráty kvality či na úkor zákazníka. Dosáhne toho minimalizací plýtvání.

Lean Six Sigma vznikla přirozeným vývojem procesů zlepšování kvality ve výrobních podnicích, které se začaly objevovat v 50. letech minulého století. Metoda Lean (štíhlá výroba) odstraňuje ztráty a zvyšuje efektivnost procesů tím, že se snaží najít způsoby zlepšení v oblasti rychlosti a nákladů. Posláním metody Six Sigma je odstranit odchylky a omezit vady prostřednictvím zlepšování kvality. Lean používá nástroje, jako jsou mapování toku hodnot (value stream mapping – procesní mapa) nebo vyvažování pracovní zátěže (**George**, 2003). Six Sigma pracuje s analytickyějšími nástroji, jako jsou například Paretova analýza, kontrolní tabulky, statistická analýza nebo počet vad na milión příležitostí k vadě (**Brussee**, 2010). Lean Six Sigma spojuje metody Lean a Six Sigma dohromady. Kombinuje časově zaměřenou strategii metody Lean s analytickými nástroji Six Sigma (**Ries**, 2015).

George, **Rowlands** a **Kastle** (2005) se opírají o metodologii DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control), uvedenou na obrázku 11. Jedná se o kontinuální zlepšování výrobních procesů, které musí umět výrobní podnik definovat, měřit, analyzovat, zlepšovat, řídit a opět definovat (**Ghosh** a **Maiti**, 2012). Tato metodologie tvoří stěžejní součást Six Sigma a slouží především pro projekty zdokonalování již existujících procesů. Bohužel mnoho výrobních firem hledá zkratky v tomto procesu, což není optimální přístup a vše by se mělo negativně projevit v dlouhodobém časovém horizontu (**Brue**, 2006).

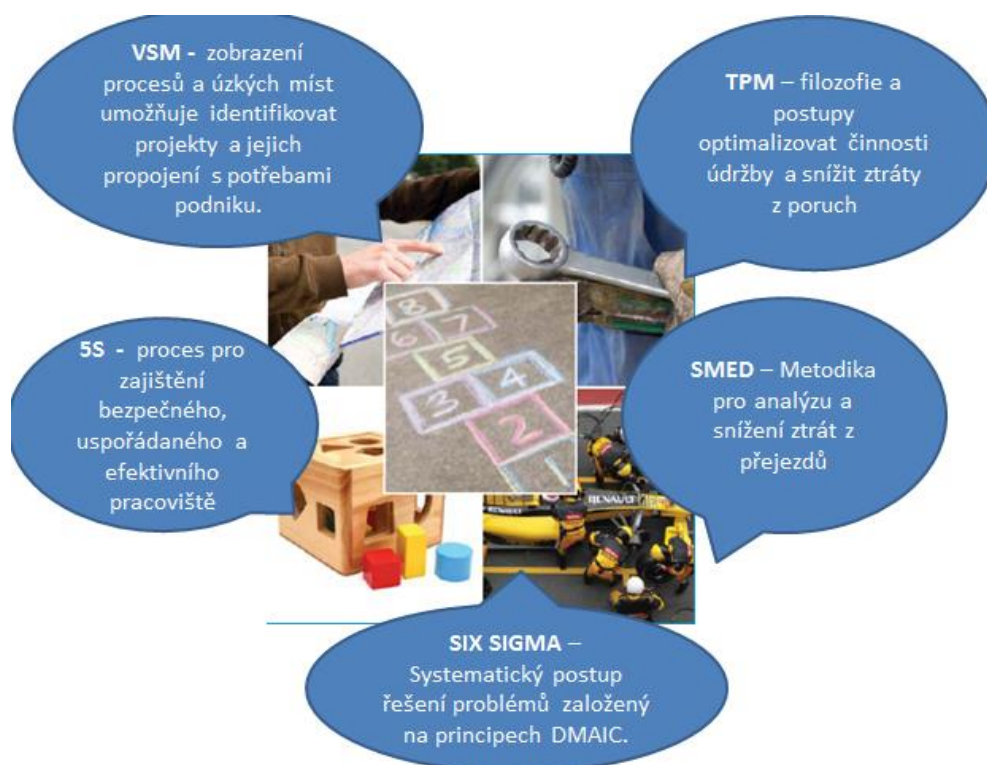


Obrázek 11 Přístup DMAIC (Grosh a Maiti, 2012, upraveno autorem)

Obrázek 12 popisuje používané nástroje Lean Six Sigma. Každodenní problematikou výroby je zajištění dostatečné přesnosti výroby na stávajících výrobních prostředcích (bez velkých investic do jejich modernizace).

VSM (value stream mapping) neboli procesní mapa je nástroj pro grafické znázornění a popis stávajícího stavu procesu s cílem navrhnout stav budoucí. Tato metoda má využití zejména ve výrobních procesech s cílem tento proces zlepšit (najít úzká místa procesu). Je nutno vytvořit tým z jednotlivých oblastí podniku, společně sestrojít procesní mapu a postupně hledat zdroje plýtvání. Lee et al. (2014) uvádějí VSM jako užitečnou techniku pro vizualizaci složitých pracovních postupů, jako je například pediatrické vyšetření magnetickou rezonancí.

TPM se snaží optimalizovat činnosti údržby tak, aby výrobní zařízení měla vysokou efektivnost a to zejména díky plánované a autonomní údržbě. SMED se snaží zrychlit přestavby výrobního zařízení na jiný výrobek v co nejkratším čase. Další cíl je snížení vadných výrobků při rozjezdu výrobní linky. Autoři **George, Rowlands a Kastle** (2004) uvádějí, že 5S snaha o bezpečný provoz je prioritou většiny výrobních podniků.



Obrázek 12 Nástroje Lean Six Sigma (Goh, 2013, upraveno autorem)

Lean Six Sigma má své kořeny především ve výrobě, dnes se používá prakticky ve všech odděleních organizací. Cílem využití Lean Six Sigma je identifikovat zákazníka (interního či externího) a jeho hodnoty. Důležité je zaměřením se na činnosti, které tyto hodnoty přináší. Kde končí hranice zvyšování produktivity, začíná hranice inovační změny výrobku nebo inovace podnikatelského systému.

Primární snahou výrobních podniků je optimalizace výrobních procesů. Ovšem nesmí zapomenout na nevýrobní procesy. Tyto procesy nelze jednoduše měřit, přesto je už lze „normovat“.

Autoři **George, Rowlands** a **Kastle** (2005) jmenují tyto příčiny plýtvání v nevýrobních útvarech:

- interní problémy komunikace mezi odděleními, lidmi a různými počítačovými systémy,
- komunikační problémy se zákazníky a dodavateli,
- nerovnoměrný chod zakázek a kolísající zatížení jednotlivých oddělení (sezonnost),
- příliš velké zásoby,
- chybějící synchronizace administrativních procesů,

- špatné sdílení dat,
- nízká kvalifikace, disciplína,
- nízká produktivita práce.

Implementace Lean Six Sigma proběhla v mnoha významných mezinárodních společnostech jako GE, Motorola, ABB, Sony DuPont. Autoři **Antony, Kumar a Labib** (2008) se zaměřili na průzkum znalostí o Lean Six Sigma v malých a středních výrobních podnicích ve Velké Británii. Výsledky ukazují, že tyto malé a střední podniky nemají mnoho informací o problematice, navíc účast managementu v implementaci této strategie je velmi malá. Velmi podobné výsledky si autoři **Kumar a Antony** ověřili i v roce 2009.

Goldsby a Martichenko (2005) detailně specifikují nový koncept „Lean Six Sigma logistics“, který definují jako eliminaci plýtvání skrze disciplinované úsilí o porozumění a snižování odchylek, zvyšování rychlosti a toku v logistickém řetězci.

1.2.4 Vztah mezi výrobním procesem a distribučními náklady

Zahraniční literatura se zabývá otázkou, jakou hodnotu přináší koordinace plánování výroby a distribuce pro výrobní podniky (**Blumenfeld et al.**, 1991; **Abernathy**, 1999; **Kim et al.**, 2003; **Keskin et al.**, 2014). Autoři se soustředí zejména na výrobní podniky, které vyrábí více výrobků a zastřešují skladování výrobků ve vlastním areálu. Jejich výrobky jsou distribuované více zákazníkům (či do distribučních center) na základě jejich požadavků, které jsou známy pro danou plánovací periodu. Mnoho publikací se snaží porovnat dva systémy (**Chandry a Fischer**, 1994; **Keskin et al.**, 2014). V prvním se výrobní podnik snaží optimalizovat výrobní a dopravní náklady odděleně. V druhém systému se plánují společně výrobní a distribuční procesy. Jako omezující podmínky jsou brány v potaz: délka plánovacího cyklu, počet výrobků, počet zákazníků, náklady přestavby výrobní linky na jiný výrobek, náklady na skladování a distribuční náklady.

Již v roce 1979 **Glover et al.** vytvořili model pro koordinaci výrobního plánování, skladování a distribuci pro významný chemický podnik. Tento model pomohl zlepšit krátkodobé plánování a zefektivnit distribuci výrobků.

Blumenfeld et al. (1991) se zaměřili na kooperaci výrobních a distribučních procesů pro výrobu komponentů pro montážní linku u zákazníka. Tuto svoji teorii dokázal v roce 1987 úspěšně implementovat u General Motors.

Abernathy (1999) uvádí, že existuje mnoho publikací zaměřených na propojení (integraci) výroby a logistiky na strategické úrovni, tzn. určení umístění výrobního podniku či druhu dopravy. Nicméně velmi málo prací se zaměřuje na tuto problematiku z hlediska každodenní problematiky na tzv. operační úrovni.

Autoři **Jin, Luo a Eksioglu** (2008) věří, že pro americké automobilky největší zlepšení v oblasti snížení reakčního času na objednávku leží ve zkrácení času dopravy výrobku k finálnímu zákazníkovi. Automobilky dávají prioritu výrobě před dopravou, proto v mnoha případech dopravní prostředek čeká na kompletní naložení (výrobek ještě není vyroben). Nevytížené auto je z tohoto úhlu pohledu neefektivní.

Dle autorů **Chandry a Fischera** (1994) většina výrobních firem řeší výrobní a distribuční procesy odděleně s téměř nulovou koordinací mezi výrobním a distribučním plánováním. Tento přístup může stále fungovat u těch výrobních podniků, které mají vysoké skladové zásoby a jsou tedy schopny reagovat na požadavky zákazníka. Ovšem s nástupem JIT přístupu (počátkem 70. let v USA a západní Evropě) je stále větší tlak na snížení zásob.

Kim et al. (2003) se snaží propojit výrobní procesy a distribuci v jeden celek a pomocí genetických algoritmů najít optimální výrobní a distribuční rozvrh.

Keskin et al. (2014) popisují integrovaný model pro optimalizaci výrobních rozvrhů a distribučních nákladů pro výrobní podnik Webb Wheel. Tento model přinesl 4,4 % úspory nákladů po čtyřech měsících testování.

1.2.5 Nástroje na řízení distribučních nákladů

Dopravní podniky v zahraničí se zaměřují zejména na optimalizaci přepravních tras (**Blauwens, Daere a Voorde**, 2008). Prvním pohledem je možnost optimálního trasování v případě, že je dostatek informací o dopravní situaci a lze se vyhnout kongescím. Druhým pohledem je optimalizace trasy z hlediska matematického výpočtu, např. pomocí metod operačního výzkumu či programů na trasování. Účelová funkce definuje zadaný problém, kde se ve většině případů minimalizují ujeté kilometry tak, aby se zároveň dodržely omezující podmínky. Omezující podmínky v mnoha případech představuje kapacita vozidla, obsluha v časovém okně, či pracovní doba osádek. Počáteční informací jsou velikosti materiálových toků a poloha zákazníka.

V současné době je dostatek aktuálních informací a na jejich základě se vybírá ideální trasa. Nutnou podmínkou k získání aktuálních dat jsou informační aplikace. V současné době se využívá informačních systémů, webových aplikací či on-line plánovačů tras.

Autoři **Blauwens, Daere a Voorde** (2008) rozdělují trasování na tři nejdůležitější oblasti:

1. Volba nejkratší cesty (shortest-path method)

Cílem je najít nejkratší cestu z původní do cílové destinace. Autoři uvádějí, že manuální hledání nejkratší cesty je v praktických podmínkách téměř nemožné, proto se

využívá klasických či heuristických přístupů. Klasické přístupy jsou vhodné na omezený počet vrcholů.

2. **Okružní problém** (round-trip method – vehicle routings)

Jedná se o obsluhu zákazníků v atrakčním obvodu, kde je nutné brát zřetel na kapacitní omezení používaného dopravního prostředku a hmotnostní požadavky jednotlivých vrcholů.

3. **Dopravní problém** (transportation problem)

Výrobní podniky stojí před úkolem jak rozvést mezi několik různých odběratelů homogenní výrobky, které jsou vyrobeny nebo skladovány na různých místech. Cílem je, aby byla zajištěna poptávka v rámci daných zdrojů a současně bylo dosaženo minimálních celkových přepravních nákladů.

1.3 Kritické zhodnocení analýzy současného stavu

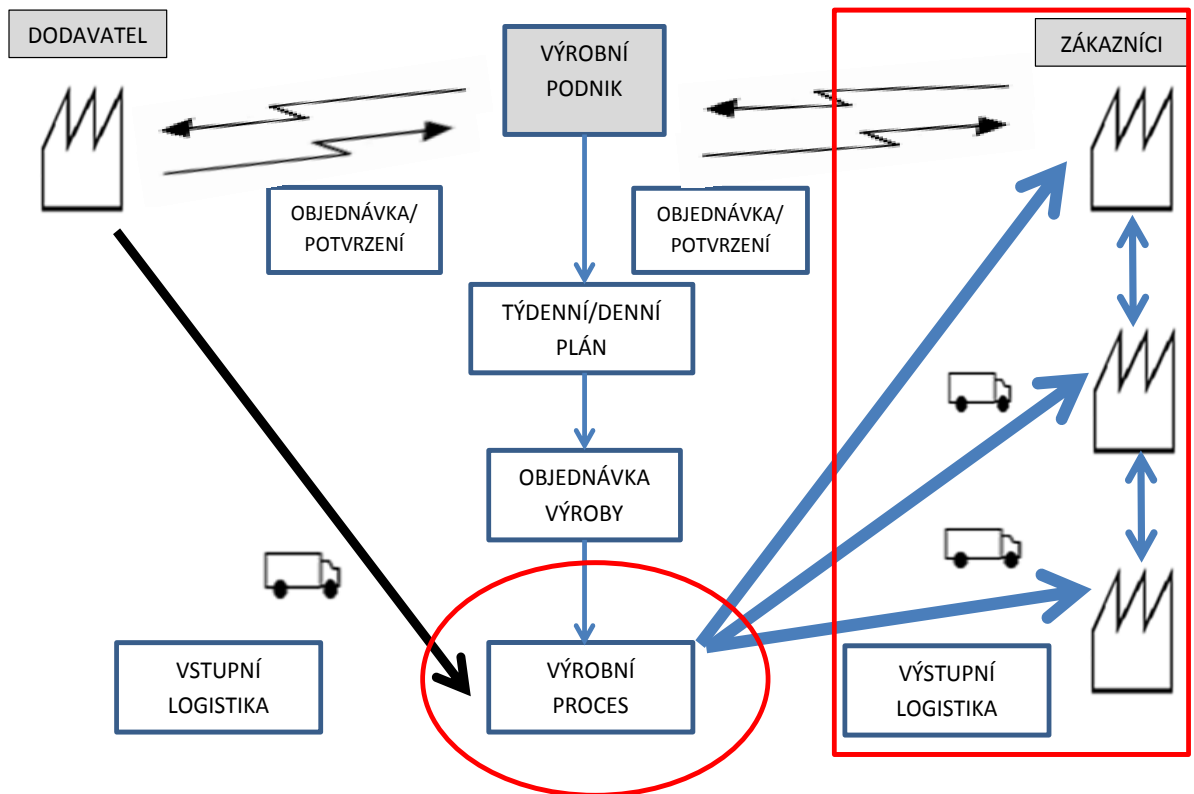
V dnešním, dynamicky se měnícím prostředí výrobních podniků je potřeba znalosti hodnototvorného řetězce. Toto je nezbytná podmínka pro optimalizaci celkových nákladů daného hodnototvorného řetězce. V kontextu této potřeby se téměř všechny výrobní podniky zabývají otázkou jak efektivně řídit výrobní a distribuční náklady s cílem dosáhnout konkurenční výhody.

Používají optimalizační úlohy, kde si účelová funkce klade za cíl minimalizaci nákladů při maximalizaci využití dostupných zdrojů. Multikriteriální plánovací rozvrhy jsou tak náročné, že není v lidských silách toto pojmout v určitém čase. Klasické nástroje a postupy také selhávají, proto se stále hledají alternativní řešení, která při využití všech proměnných v reálném čase přinesou potřebné informace pro rozhodování.

Současný výzkum ukazuje, že probíhá odděleně optimalizace výrobního procesu (různé plánovací rozvrhy...) a odděleně optimalizace výstupní logistiky (optimalizace vykládek, svozových tras, umístění skladů), neexistuje však propojení těchto dvou částí, a to zejména v České republice.

Výrobní proces optimalizuje své výrobní náklady pomocí výrobního plánu (hledá takový výrobní plán, kde výrobní náklady jsou minimální) a až poté, jako druhý krok, optimalizuje distribuci výrobků k zákazníkům pomocí distribučního plánu (hledá takový distribuční plán, kde distribuční náklady jsou minimální). Tento druhý krok optimalizace distribuce (výstupní logistiky) je mnohdy vykonáván jiným oddělením či externí společností a tedy neexistuje propojení obou optimalizačních procesů.

Obrázek 13 popisuje tento současný stav. Jedná se o procesní mapu použitou k zjištění aktuálního stavu řízení a plánování výrobního procesu a následnou distribuci výrobků ve výrobních podnicích. Výrobní proces (označeno v červeném kole) je optimalizován nezávisle na výstupní logistice (distribuci k zákazníkům). To samé platí o distribuci k zákazníkům (označeno červeným rámečkem), která je optimalizována nezávisle na výrobním procesu.



Obrázek 13 Procesní mapa většiny výrobních firem (autor)

2 DEFINICE CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je návrh modelu pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku s využitím genetických algoritmů.

Díličními cíli jsou:

1. Návrh konkrétního algoritmu a sestavení výpočtového modelu pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku.
2. Ověření funkčnosti navrženého modelu pomocí simulačního programu Matlab.
3. Komparace navrženého řešení se stávajícím stavem na konkrétní výrobní podnik.

3 PŘEHLED ZVOLENÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ

Tato kapitola poskytuje teoretický základ metod užitých v následujících částech dizertační práce.

3.1 Analýza a syntéza

Mezi nejčastěji užívané vědecké metody patří analýza a syntéza. Analýza a syntéza pochází z řeckého slova, kde analýza znamenala rozložení nějakého komplexu na části a syntéza měla význam spojení rozmanitostí k jednotě v celku. Z metodologického hlediska lze tato slova použít ve smyslu metod k získávání nových poznatků, nebo ve smyslu metody výkladu poznatků.

Analýza je vědecká metoda, která postupuje od celku k částem, tzn. je založená na dekompozici celku na elementární části (**Disman**, 2014). Metoda odlišuje podstatné od nepodstatného, nahodilý jev od trvale zákonitého. Předmětem analýzy je v disertační práci především hodnototvorný řetězec a zejména činnosti výroby a výstupní logistiky daného hodnototvorného řetězce a jejich možnosti vzájemného propojování (identifikace synergických efektů). Syntéza je oproti analýze proces opačný, tj. postupuje od části k celku. Syntéza má jako metodologický princip vždy doplňovat analýzu. S využitím syntézy jsou propojeny veškeré poznatky získané literární rešerší a analýzou vybraných činností hodnototvorného řetězce.

3.2 Modelování

Modelování je často používanou metodou v odborné a vědecké praxi v mnoha oborech lidské činnosti. Modelování si klade za cíl pochopit pozorované jevy, napodobit chování zkoumaného systému, simulovat je na vlastním modelu a následně ovlivnit jeho chování požadovaným způsobem. Modelovaný systém lze formálně popsat a následně simulovat v reálném čase pomocí počítačového programu, pro jeho sestavení je nutná specifická algoritmizace. Výsledkem modelu je hodnota o předpokládatelné přesnosti. Modelování zjednodušeným pohledem nahlíží na určitou část reálného světa (nelze plně obsáhnout samotnou realitu). Je tedy přiblížením skutečnosti a proto se provádí ověřovací experimenty, které zpřesňují parametry modelu a tak i model samotný. Pro úspěšné využití modelu je třeba použít kvalitní data a mít předem specifikovaný cíl a zároveň použít kvalitní zdrojová data. Model lze využít pomocí počítačového programu, pro jeho sestavení je nutná specifická algoritmizace. Teorie modelování je ucelený soubor poznatků o modelech a modelování vycházející ze základních atributů modelování a základních charakteristik modelů (**Janíček**, 2007).

V disertační práci bude vytvořen model pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku s využitím genetických algoritmů.

Lze využít 4 základní typy modelů (Synek, 2007):

Normativní

Předepisují optimální postup pro dosažení stanoveného cíle. Jedná se o optimalizaci účelové funkce při určitých omezeních.

Heuristické

Aplikují se v případech, kde jsou nejvíce vhodné intuitivní pravidla a metody přibližného výpočtu.

Deskriptivní

Jedná se o simulační modely aplikované jako kopie chování reálného systému, jejichž výsledky mají na rozdíl od jiných matematických modelů odvozený a nikoli všeobecný charakter.

Prediktivní

Své využití mají pro předvídání budoucího vývoje.

3.3 Genetické algoritmy

Jako nejvhodnější se na základě provedené analýzy a studia jednotlivých metod jeví využití metod genetických algoritmů včetně návrhu jejich vhodného využití v oblasti plánování výroby v úlohách s omezenými zdroji. Spojení výrobního a distribučního procesu (řetězce) sníží celkové náklady výrobního podniku.

Genetické algoritmy jsou jednou z moderních optimalizačních metod, které patří do třídy evolučních algoritmů a nachází uplatnění pro svou poměrnou jednoduchost. Jsou to heuristické vyhledávací algoritmy založené na mechanismu přirozeného výběru. Genetických algoritmů se tedy využívá zejména k řešení optimalizačních úloh, zvláště v případech, kdy je parametrický prostor příliš velký pro prohledávání všech možností. Hynek (2008) uvádí použití genetických algoritmů v případech, kde nelze prakticky použít exaktní postup v řešení optimalizace a lze akceptovat náhodnost jako součást jinak deterministického výpočtu. „Doménou genetických algoritmů tedy budou zejména problémy, k jejichž řešení žádná speciální technika není k dispozici nebo není ani známa“ (Hynek, 2008, s. 15).

Používání genetických algoritmů a simulačních metod pro společnou oblast výrobního rozvrhování a distribuční logistiky není stále rozšířeno, především v malých a středně velkých výrobních podnicích. A to i přes značnou teoretickou základnu, kdy v uplynulých desetiletích bylo vytvořeno mnoho publikací, metodik a nástrojů pro tuto oblast.

Zde se otevírá značný prostor pro použití softwarových programů, které podporují efektivní řízení výrobních a distribučních procesů. Ty vyžadují rychlou adaptaci na měnící se podmínky s cílem minimalizace nákladů.

Je důležité, aby se ve výrobních podnicích začaly využívat produkty založené na genetických algoritmech, které se pak mohou stát nedílnou součástí automatizovaného řízení postupu výroby (ne pouhou pomůckou pro organizaci výroby). K tomuto by chtěla přispět i tato disertační práce.

Exaktní postup pomocí klasických matematických metod (např. lineární programování, metoda větví a mezí) sice zaručí nalezení optimálního řešení, ale jejich použití není od určitého rozsahu problému v reálném čase možné ani při využití výkonné výpočetní techniky. Existují také problémy a aspekty (zpětné vazby, náhodné rozhodování, změny požadavků, poruchy apod.), které nelze popsat tradičními způsoby.

V podnikové praxi se stále častěji vyskytuje problém vícekritériálního rozhodování za omezené dostupnosti potřebných informací. Proto genetické algoritmy lze použít v logistice, dopravě, řízení výroby, v plánování a v mnoha dalších oborech. Genetický algoritmus dokáže optimálně naplánovat výrobu na výrobní lince¹ a zahrnout do řešení celou řadu vedlejších parametrů jako např. výpadek některé výrobní linky či jednotlivé operace, časové prodlevy či naopak zrychlení, náklady na přechod z jedné výrobní linky na druhou, maximální délku fronty, následnost operací, provedení dané operace na více strojích apod. Primárním principem genetického algoritmu je postupné přizpůsobování řešení okrajovým podmínkám (analogie s přírodou). Vzhledem k variabilitě řešených optimalizačních problémů neexistuje obecně použitelný genetický algoritmus, který je vhodný pro danou účelovou funkci (**Back**, 1996).

Společné rysy genetických algoritmů jsou (**Kvasnička**, 2000):

- zároveň pracují s celou skupinou možných řešení daného problému,
- řešení postupně vylepšují zařazováním nových řešení, získaných kombinací původních,
- kombinace řešení jsou následovány náhodnými změnami a vyřazováním nevýhodných řešení.

Výpočetní náročnost se jeví jako nevýhoda, která je ovšem minimalizována pomocí hybridních algoritmů. Při nesprávném nastavení genetického algoritmu může výpočet nalézt pouze lokální optimum, toto riziko je tedy nutné eliminovat správným nastavením.

¹ Určit optimální výrobní plán (rozvrh).

3.3.1 *Biologické kořeny a shrnutí základních poznatků*

V roce 1859 Charles Darwin poprvé publikoval knihu „*O vzniku druhů přirozeným výběrem čili zachováním vhodných odrůd v boji o život*“. Kniha rozvíjí myšlenku, že populace živočichů a rostlin se vyvíjela po mnoho generací dle principu přirozeného výběru a přežití těch nejschopnějších jedinců. Tato kniha byla inspirací pro oblast výzkumu, který se snažil tyto přírodní procesy popsat a napodobit, ale až na konci dvacátého století se evoluční algoritmy začaly používat k řešení v řadě oborů lidské činnosti. „*V přírodě obvykle individua v rámci dané populace soupeří o zdroje potřebné k přežití, chrání se před predátory a usilují o možnost vlastní reprodukce*“ (Hynek, 2008, s. 14). V přírodě tedy existují populace jednotlivých živočišných druhů, které jsou složené z jedinců různých vlastností. Tyto vlastnosti jsou zakódovány prvotně v jejich genech, které tvoří větší celky, chromozomy. Při křížení vznikají noví jedinci. Přirozený proces výběru se stále opakuje a v jeho průběhu se tak zlepšují genetické vlastnosti určeného druhu.

Holland (1975) poprvé definoval genetický algoritmus. **Koza** (1992) poprvé představil genetické programování. **Davis** (1987) a **Goldberg** (1997) dokázali, že genetické algoritmy jako vyhledávací metody nabízejí dobrý poměr mezi kvalitním výsledkem a rychlostí nalezení řešení.

Goldberg (1997), student Hollanda, se poté zabýval použitím genetických algoritmů na řešení lokačních úloh. Stabilita a použitelnost genetických algoritmů byla verifikována ve výrobní praxi dle skutečných výrobních linek a jejich limitací. **Dijk** (1996) navrhl genetické algoritmy jako ověřený nástroj pro výrobní rozvrhy. Autoři **Bielli**, **Caramia** a **Carotenuto** (2002) se zaměřili na vytvoření optimální autobusové sítě splňující nabídku i poptávku dopravy. Na tuto optimalizaci použili genetické algoritmy.

Autoři **Glover** a **Laguna** (1999) uvádějí, že většina optimalizací a rozvrhovacích problémů bývá v praktických případech příliš komplexní a nelze je tedy spolehlivě vyřešit klasickými (exaktními) metodami. Proto se současná metodologie ubírá směrem k simulačním a vyhledávacím algoritmům, kde se jako jedno z řešení nabízí použití genetických algoritmů.

Dle **Hollanda** (1975) je základním předpokladem pro práci s genetickými algoritmy podrobná znalost jejich fungování a odborná analýza problému. Nelze automaticky čekat, že prostou aplikací genetických algoritmů na libovolný problém je možno dosáhnout uspokojivých výsledků. Toho nelze dosáhnout bez využití maxima znalostí o charakteru a struktuře daného problému a ve vzájemném prolínání tradičních technik a genetických algoritmů. Tedy existuje-li pro konkrétní problém specializovaný algoritmus využívající

znalosti o tomto problému, tento algoritmus většinou předčí genetický algoritmus v kvalitě nalezeného řešení nebo v rychlosti nalezení řešení. Vhodnou kombinací genetických algoritmů a specializovaných technik (využívajících know-how konkrétního algoritmu pro daný problém) lze úspěšně vyřešit mnoho problémů. Díky podrobné znalosti problému a fungování genetického algoritmu lze odhalit i případný neúspěch, který může vzniknout neopodstatněnou snahou o použití genetického algoritmu, selhání způsobené nevhodným typem konkrétního problému nebo pochybením při vlastní aplikaci genetického algoritmu (**Michalewicz, 1996**).

3.3.2 Mechanismus genetického algoritmu

V teorii umělé inteligence je genetický algoritmus proces postupného vylepšování populace jedinců opakovanou aplikací genetických operátorů, který vede k evoluci takových jedinců, kteří lépe vyhovují stanoveným podmínkám než jedinci, ze kterých vznikli. Proces konverguje k situaci, kdy je populace tvořena jen těmi nejlepšími jedinci. Genetický algoritmus definuje operátory selekce, křížení, mutaci a reprodukci. V literatuře jsou různé definice genetického algoritmu, obecné schéma lze jednoduše definovat takto (**Hynek, 2008**):

- 1) náhodné vygenerování počáteční populace,
- 2) vytvoření nové generace (iterace),
 - a) ohodnocení jedinců v generaci (výpočet a přiřazení fitness funkce),
 - b) kopírování elitních jedinců (jen v případě nastavení elitářství),
 - c) selekce,
 - d) křížení,
 - e) mutace,
 - f) kontrola jedinců,
 - g) opakujeme krok, dokud není nová generace naplněna,
- 3) označení nové generace jako původní,
- 4) opakování kroku 2) do nastaveného počtu iterací,
- 5) výpis výsledku.

3.3.3 Terminologie genetických algoritmů

Základní pojmy, které budou v rámci disertační práce dále užívány: fitness funkce, jedinec, gen, generace, kódování, elitářství, selekce, křížení, mutace a reprodukce.

Hodnota **fitness funkce** vyjadřuje kvalitu jedince. Dle **Tvrdíka** (2006) se každý jedinec podílí na nové populaci podle kvality svého ohodnocení (fitness funkce). Je nutné navrhnout strukturu jedince tak, aby se snadno dala vyjádřit jeho kvalita a zároveň se dobře provádělo křížení. Nejlepší jedinec je dán nejnižší hodnotou fitness funkce pro úlohu s minimalizačním kritériem, naopak pro maximalizační úlohu představuje nejlepšího jedince nejvyšší hodnota fitness funkce. **Hynek** (2008) tvrdí, že hodnotící funkce musí být úzce spojena s konkrétním problémem, jež se pokoušíme použitím genetického algoritmu řešit.

Jedinec neboli chromozom zobrazuje jedno řešení optimalizační úlohy (či jeden konkrétní stav systému). Každý jedinec má pevnou délku, jednotlivé pozice tvoří geny, a je určitým způsobem zakódován, což lze chápat jako jistý kód informace o jedinci. Chromozóm je „nosičem“ genetické výbavy každého živého organismu. V genetickém algoritmu chromozóm představuje řešený problém pomocí souhrnu základních znaků.

Gen popisuje jednu určitou vlastnost, kterou je jedinec vybaven. Tyto vlastnosti jsou hodnoceny a určují kvalitu daného jedince. Geny reprezentuje často binární 0 nebo 1, ale obecně mohou mít libovolnou hodnotu.

Generací (populací, iterací) se rozumí množina různých jedinců obsažených v každém cyklu genetického algoritmu. Každý jedinec se podílí na nové populaci dle kvality svého ohodnocení, které je zpravidla vyjádřené pomocí hodnoty fitness funkce.

Kódování je mechanismus, který přiřadí každému řetězci prvek z prohledávaného prostoru. Musí se zachovat formát jedince, který odpovídá definovanému kódování pro celý genetický algoritmus, tzn. jedinec po křížení a mutaci musí být stále platný.

- **Binární kódování** - patří mezi nejpoužívanější kódování. Každý jedinec je popsán jako řetězec bitů 0 nebo 1. Podrobně se problematikou binárního kódování zabývají **Mařík, Štěpánková a Lažanský** (2001). Příklad dvou jedinců popisuje obrázek 14.

Jedinec A	1001011100001100
Jedinec B	1111100000101010

Obrázek 14 Binární kódování (autor)

- **Permutační kódování** - jedinec zde reprezentuje jisté pořadí objektů a akcí, které je nutné respektovat při použití generátorů křížení (obrázek 15).

Jedinec A	2 4 3 6 8 9 7 1 5
Jedinec B	8 2 1 9 3 7 6 4 5

Obrázek 15 Permutační kódování (autor)

- **Číselné kódování** - používá se v komplikovaných problémech, kde použití binárního kódování může být velmi obtížné.

Pokud se vytváří nová populace za pomoci křížení a mutace, tak hrozí ztráta nejlepšího jedince z populace. **Elitářství** spočívá v tom, že nejlepší jedinci postupují rovnou do další generace (neúčastní se křížení nebo mutace). Tím nedochází ke ztrátě nejlepších jedinců a zrychluje se tím průběh genetických algoritmů. Možnosti nastavení elitářství pro výpočet:

- **Výpočet bez elitářství** – z předchozí generace se nekopíruje nejlepší jedinec do další generace. Další generace se tedy nemusí bezpodmínečně vylepšit, protože jsme mohli o nejlepšího jedince přijít křížením či mutací.
- **Výpočet s elitářstvím x -tého** stupně – „ x “ označuje počet nejlepších jedinců, kteří se budou automaticky kopírovat do další generace beze změn. To zajistí, že u další generace nebude docházet k degeneraci. Ovšem neplatí, že čím vyšší je stupeň elitářství, tím dosáhneme lepšího výsledku.

Selekce je klíčový okamžik práce genetického algoritmu, kde je nutné vybrat dvojice jedinců z populace s cílem jejich reprodukce.

Mařík, Štěpánková a Lažanský (2001) uvádí tyto základní druhy selekce:

- **Náhodný výběr** – nejjednodušší metoda selekce, která však nezohledňuje kvalitu jedinců, neboť jako rodiče jsou vybíráni jedinci z celé populace.
- **Turnajový výběr** – náhodný výběr skupiny jedinců z populace. Skupina obsahuje vždy minimálně dva jedince. Vítězem turnaje ve skupině vychází jedinec s nejvyšší hodnotou fitness funkce.
- **Vážená ruleta** – každý jedinec má přiřazenou výseč na pomyslné ruletě, jejíž plocha je přímo úměrná ohodnocení tohoto jedince a odpovídá pravděpodobnosti výběru i -tého jedince do další generace úměrné hodnotě fitness funkce f_i , dle vztahu (2):

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (-) \quad (2)$$

kde:

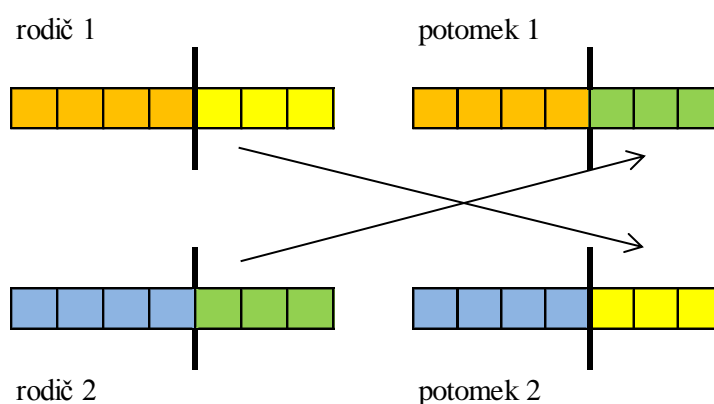
p_ipravděpodobnost výběru i -tého jedince do další generace,

f_ihodnota fitness funkce jednoho jedince, $i = 1, 2, \dots, n$,

$\sum_{j=1}^n f_j$...hodnota fitness funkce celé generace.

Křížení představuje proces, kdy vzniká ze dvou vybraných jedinců (rodičů) jedinec nový (potomek). Vlastnosti nového jedince vzniknou kombinací vlastností rodičů. Křížení jedinců se provádí s určitou pravděpodobností delta (γ). Z čehož vyplývá, že s pravděpodobností $(1 - \gamma)$ křížení neproběhne a do nové populace jsou kopírováni oba jedinci. Postup opakujeme až do doby, než je v nové populaci P jedinců. **Reeves** (1993) uvádí různé hodnoty pravděpodobnosti. Teorie uvádí několik druhů křížení, zejména se používají tyto:

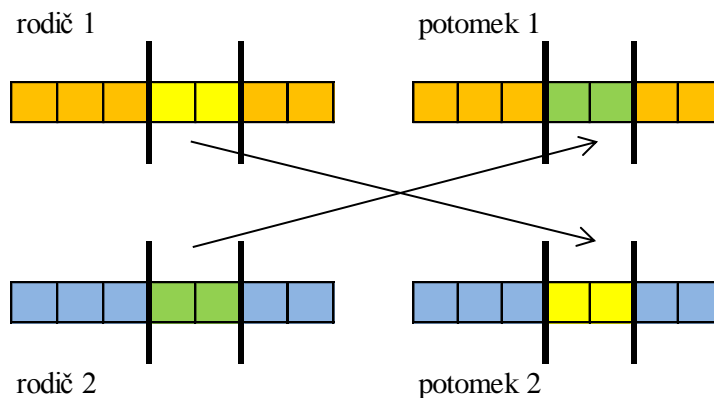
- **Jednobodové křížení** - představuje nejjednodušší možné křížení, kde se pro oba rodiče zvolí náhodně bod křížení (obrázek 16). Prvního potomka určíme kombinací levé části rodiče 1 a pravé části rodiče 2, druhého potomka určíme kombinací levé části rodiče 2 a pravé části rodiče 1.



Obrázek 16 Jednobodové křížení (autor)

- **Dvoubodové křížení** - představuje křížení, kdy se zvolí 2 dělící body². Křížení probíhá například tak, že do prvního potomka se kopírují liché části z prvního rodiče a sudá část z druhého rodiče (obrázek 17). Do druhého potomka se kopírují liché části z druhého rodiče a sudá část z prvního rodiče.

² Případně i více dělících bodů, potom mluvíme o vícebodovém křížení.



Obrázek 17 Dvoubodové křížení (autor)

- **Uniformní křížení** - vzniká pomocí vzoru z nul a jedniček, generovaného opakovaným užitím alternativního rozdělení (jedničky dle tohoto vzoru představují prvky z prvního rodiče a nuly prvky z rodiče druhého).
- **Křížení u permutačního kódování** - představuje zvolení bodu křížení, do kterého se zkopírují geny z druhého jedince (zleva od bodu křížení) a pokud se gen již nenachází v prvním jedinci, tak je do něj vložen zprava od bodu křížení (obrázek 18).

Jedinec A	Jedinec B	Výsledek křížení
435869721	123456789	123458697

Obrázek 18 Křížení u permutačního kódování (autor)

Mutace má za cíl rozrůznit populaci tak, aby nedocházelo k prohledávání stále stejných jedinců. Je to náhodná změna parametrů náhodně zvolených jedinců, umožňuje rozšíření stavového prostoru daného parametry rodičů. Je proto nutné stanovit pravděpodobnost mutace. Pokud mutace proběhne, mutovaný jedinec se v množině nahradí jeho zmutovanou variantou.

Nejčastěji používané typy mutace jsou dle **Hynka** (2008):

- **Mutace jednoho genu** – výběr jediného genu v chromozomu a jeho mutace. Nejčastěji se používá společně s binárním kódem, kdy se logická 1 mění na logickou 0 a naopak.
- **Výměna genů** – náhodný výběr dvou genů v chromozomu (nesmí být stejné) a prohození jejich pozice. Tento typ mutace se využívá například u permutačního kódu, kdy se geny v jedinci jednoduše prohodí.

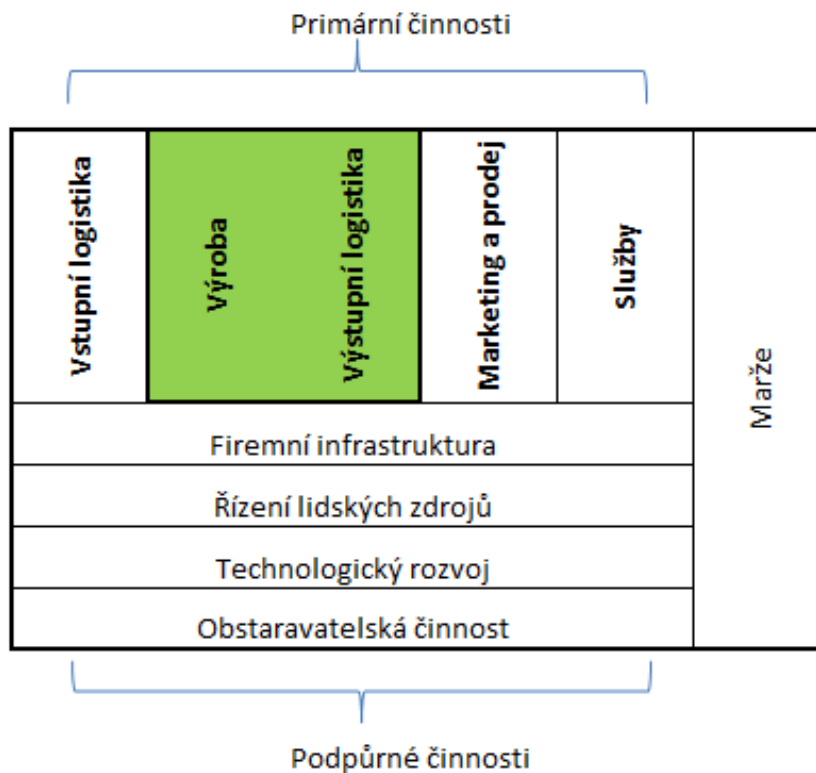
- **Inverze genů** – náhodný výběr části za sebou jdoucích genů jedince, při tvorbě potomka se ve stejné části geny uloží v opačném pořadí.
- **Vložení genu** – náhodné vyjmutí jednoho genu a vložení na jiné místo v potomkovi.
- **Přeložení genů** – náhodné vyjmutí více genů za sebou a přeložení na jiné místo.

Reprodukce představuje promítnutí výsledků křížení do populace nové, kdy se na základě kvality jedince vybírá generace příští.

V rámci této disertační práce bude použita metoda genetických algoritmů v této modifikaci: permutační kódování, elitářství x -tého stupně, selekce dle kritéria turnajový výběr, permutační křížení a mutace pomocí výměny genů. Správná modifikace genetických algoritmů má zásadní význam pro úspěšnou aplikaci genetického algoritmu, který je nutno přizpůsobit povaze modelu.

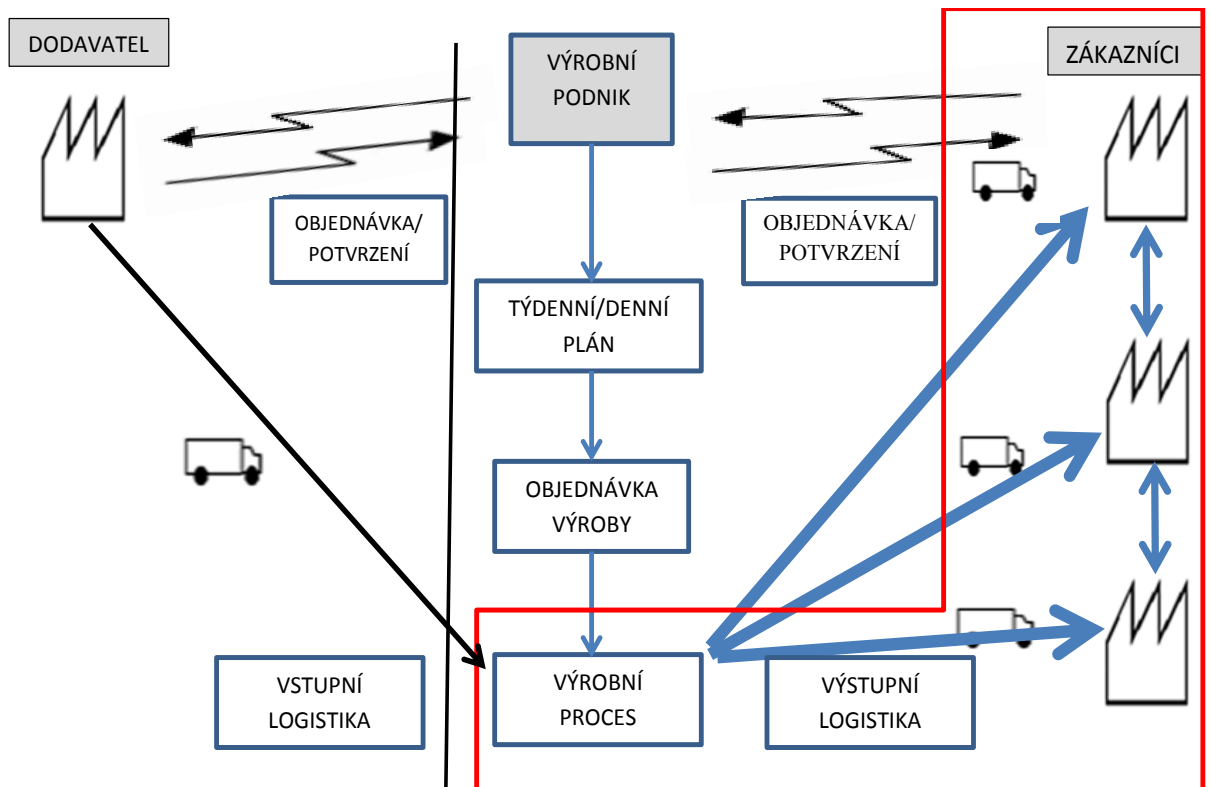
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Vlastní řešení vychází z Porterova hodnotového řetězce. Disertační práce se zaměřuje především na výrobu a výstupní logistiku. Na obrázku 19 je znázorněna změna filozofie řešení, která spočívá v propojení výrobního a distribučního procesu, v určení celkových relevantních výrobních a logistických nákladů a jejich minimalizaci.



Obrázek 19 Porterův hodnotový řetězec s vyznačeným propojením výroby a výstupní logistiky (Porter, 1994, upraveno autorem)

Obrázek 20 znázorňuje tuto změnu filozofie řešení na procesní mapě výrobního podniku, kde je opět znázorněno propojení výrobního procesu a výstupní logistiky (distribučního procesu).



Obrázek 20 Oblasti optimalizace v rámci vlastního řešení (autor)

4.1 Specifikace výrobního podniku pro navržený model řešení

Navržený model vychází z obecného vztahu Porterova hodnototvorného řetězce, který je znázorněn na obrázku 19. Zaměřuje se na výrobu a výstupní logistiku.

Model je navržen pro výrobní podnik se sériovou výrobou na průmyslovém trhu, která se zabývá produkcí výrobků se stejným technologickým charakterem, ale rozlišné škály typů. Výrobní podnik uplatňuje tažný systém řízení (pull systém), tj. nevyrábí na sklad, ale na základě objednávek od zákazníků (make to order). Vlastní řešení je zpracováno pro fixní objednávky na určené období, ve kterém musí výrobní podnik výrobky v určitém, pro podnik v ekonomicky nejvýhodnějším pořadí, vyrobit, uskladnit a doručit zákazníkům.

Model je navržen na jednostupňovou výrobu, nedochází tedy ke vzniku rozpracované výroby a s tím spojených nákladů (skladování rozpracované výroby, interní převozy, manipulace). Výrobní podnik aplikuje přímou distribuci zákazníkům bez meziskladů.

Výrobní podnik zajišťuje přepravu výrobků z výrobního podniku k zákazníkům dle Incoterms 2010 – DDP – Delivered duty paid – jmenované místo určení. V disertační práci se v rámci vlastního řešení uvažuje, že přeprava je zajišťována vlastními dopravními prostředky. Součástí přepravních nákladů jsou náklady provozu dopravního prostředku, odpisy, mzdy řidičů atd.; je uvažována i cesta zpět do výrobního podniku.

Po analýze výroby a výstupní logistiky bylo nutné rozdělit náklady hodnototvorného řetězce na relevantní a irelevantní, neboli mající či nemající vliv na nasazování (velikost) výrobních a distribučních dávek. V modelu jsou vypsány pouze náklady, které se mění ve vazbě na rozhodnutí, jak bude výrobní podnik nasazovat výrobní dávky (série) a jak bude výrobky distribuovat svým zákazníkům.

Nejprve je nutné vymezit pojem celkové relevantní výrobní a logistické náklady. **Celkové relevantní výrobní a logistické náklady NCo** jsou ty náklady, které se mění ve vazbě na rozhodnutí, jak bude výrobní podnik nasazovat výrobní dávky (série) a jak bude výrobky distribuovat svým zákazníkům (kdy, co, kolik, komu...).

Model určuje nasazení jednotlivých sérií tak, aby neminimalizoval pouze relevantní výrobní náklady, ale aby je sladil s distribučním procesem tak, aby celkové relevantní výrobní a logistické náklady byly minimální.

4.1.1 Relevantní výrobní a logistické náklady pro zvolený model

V této kapitole jsou popsány náklady, které jsou ovlivněny rozhodnutím o nasazení výrobních dávek a následné distribuci výrobků k zákazníkům v rámci výrobně-distribučního řetězce výrobního podniku.

Výrobní náklady

V navrženém modelu je uvažováno v rámci výrobních nákladů pouze s **náklady spojenými s přestavbou výrobního zařízení NVp** (dále jen náklady spojené s přestavbou). Tyto náklady se mění v závislosti na počtu výrobních dávek, neboť změnou výrobního plánu dochází k přestavování výrobního zařízení a mění se režijní náklady, v našem případě relevantní výrobní náklady.

Pokud bude výrobní plán obsahovat stejné typy výrobků, není potřeba přestavby výrobní linky. Pokud se ve výrobním plánu objeví změna výrobku, je nutná přestavba výrobní linky, která představuje náklady spojené s přestavbou v určité výši. Náklady spojené s přestavbou jsou vždy připočteny k relevantním nákladům v okamžiku změny výrobku na lince, tj. celkové náklady spojené s přestavbou jsou sumou všech nákladů přestaveb pro daný výrobně-distribuční plán.

Logistické náklady

Tyto náklady se mění v závislosti na rozhodnutí, kdy a jak budou výrobky z určené výrobní dávky expedovány. Toto rozhodnutí má vliv na tyto logistické náklady:

Skladovací náklady N_s hotových výrobků ovlivněné tímto rozhodnutím jsou:

- náklady na držení zásob (např. pronájem skladových ploch včetně manipulační techniky, spotřeba energií, odpisy skladů...),
- vázaný kapitál v zásobách spojený s náklady na kapitál, které vycházejí zpravidla z nákladů provozních úvěrů, respektive úroků z těchto úvěrů,
- oportunitní náklady (vázané prostředky v zásobách, které mohly být využity jiným způsobem).

Skladovací náklady N_s jsou kalkulovány za každý započatý den skladování daného výrobku (cena za skladování se u jednotlivých výrobků může lišit na základě jejich povahy skladování – váhy, rozměrů, náročnosti na vybavení skladu atd.). Pokud je výrobek expedován v den výroby, skladovací náklady jsou nulové. Celkové skladovací náklady jsou tedy sumou všech skladovacích nákladů pro daný výrobně-distribuční plán.

Distribuční náklady N_{Zd} hotových výrobků, které představují náklady na přepravu výrobků od výroby k zákazníkům danými dopravními prostředky. Jejich hodnota vstupuje do výpočtu v den odjezdu dopravního prostředku. **Lze libovolně kombinovat jednak přepravované výrobky do maximální kapacity dopravního prostředku K_d , jednak také místa vykládek dopravního prostředku.** Celkové distribuční náklady jsou sumou všech distribučních nákladů pro daný výrobně-distribuční plán.

Zvolený model je proto upraven na tento vztah (3):

$$N_{Co} = N_{Vp} + N_s + N_{Zd} \quad (\text{Kč}) \quad (3)$$

kde:

N_{Co} - celkové relevantní výrobní a logistické náklady (Kč),

N_{Vp} - celkové náklady spojené s přestavbou (Kč),

N_s - celkové skladovací náklady (Kč),

N_{Zd} - celkové distribuční náklady (Kč).

4.1.2 Irelevantní náklady pro zvolený model

V této kapitole jsou vymezeny náklady těch činností, které nejsou ovlivněny rozhodnutím o nasazení výrobních dávek a následnou distribuci výrobků k zákazníkům v rámci výrobně-distribučního řetězce výrobního podniku. Náklady jsou řazeny v logickém pořadí hodnototvorného řetězce:

Vstupní logistika

Náklady na dopravu materiálů do výrobního procesu nejsou uvažovány, neboť z hlediska odběratelsko-dodavatelských vztahů je stanoveno, že dodavatel je zodpovědný za dodávku materiálu na místo určení, tzn. do výše zmíněného výrobního podniku v okamžiku potřeby.

Výroba

Náklady na spotřebu přímého materiálu a přímé mzdy nejsou ovlivněny rozhodnutím o nasazení výrobních dávek. Tímto rozhodnutím jsou ovlivněny pouze náklady spojené s přestavbou výrobní linky (režijní náklady dle funkčního rozdělení nákladů), ty jsou již popsány v kapitole výše. Náklady na vnitropodnikovou přepravu jsou konstantní, nezáleží tedy na počtu a typu přepravovaných výrobků uvnitř výrobního podniku.

Výstupní logistika

Náklady výstupní logistiky mají vliv na rozhodnutí o nasazení dávek, proto jsou popsány v předchozí kapitole.

Marketing a prodej

Jak již bylo uvedeno, vlastní řešení je zpracováno pro předem stanovené objednávky na zvolené období. Jedná se tedy o úlohy na existující kapacitě a náklady na marketing a prodej jsou pro řešení této optimalizační úlohy irelevantní.

Služby

Nemají vliv na rozhodnutí o nasazení výrobních dávek, neboť kontakt se zákazníkem a služby pro zákazníka musejí být stále na odpovídající úrovni.

4.1.3 Proměnné použité ve zvoleném modelu

V uvedeném algoritmu jsou použity následující proměnné:

- M - počet druhů výrobků,
- N - počet výrobků (ks),
- Z - počet zákazníků,
- n_{vp} - náklady spojené s jednou přestavbou (Kč),
- n_{zd} - distribuční náklady na přepravu jednoho výrobku (Kč),
- n_s - skladovací náklady na jeden výrobek za časovou jednotku (Kč),
- NCo - celkové relevantní výrobní a logistické náklady (Kč),
- Kd - kapacita dopravního prostředku (ks),
- Ks - kapacita stroje (ks/den),
- S - počet strojů (ks),

- T - plánovací horizont (den),
- P - výrobně-distribuční plán (ks).

Počet druhů výrobků, počet výrobků a počet zákazníků je v daných periodách aktualizován na základě výrobně-technických možností výrobního podniku a na požadavcích trhu, kde konkrétní požadavky na konkrétní výrobky (jejich strukturu a počet) jsou vždy jednoznačně určeny na základě konkrétních objednávek od zákazníků.

Kapacita dopravního prostředku K_d je určená maximálním vytížením dopravního prostředku. Maximální kapacita je limitována maximální hmotností či maximálním přípustným rozměrem výrobků. Je uvažováno pouze s jedním typem dopravního prostředku o kapacitě K_d . Doba přepravy je závislá na vzdálenosti zákazníka.

Kapacita stroje K_s je určena technicko-technologickými vlastnostmi jednotlivých strojů za daný časový interval (štitková rychlost stroje, štitková rychlost skupiny strojů, technický stav strojů...).

Počet strojů S se odvíjí od dispozic konkrétního výrobního podniku.

Plánovací horizont T je fixní na určené období. Plánovací horizont vychází z časového intervalu (týden, měsíc apod.), v tomto horizontu jsou požadavky již fixní a nelze je měnit. Jedná se tedy už o předem určenou (měsíční, týdenní) objednávku. Výrobní podnik musí v tomto horizontu všechny požadované výrobky vyrobit a doručit zákazníkům. Zákazníci zadávají své požadavky pro výrobní podnik vždy předem v závislosti na technologii výroby konkrétního výrobního podniku.

Výrobně-distribuční plán (rozvrh) P je tvořen na nastavený časový horizont. Při každé změně (v objednávce, kapacitě strojů) je výrobně-distribuční plán přepočítán.

Omezující podmínky jsou tvořeny:

- K_d - kapacita dopravního prostředku (ks),
- K_s - kapacita stroje (ks/den),
- S - počet strojů.

4.2 Návrh konkrétního algoritmu a sestavení výpočtového modelu

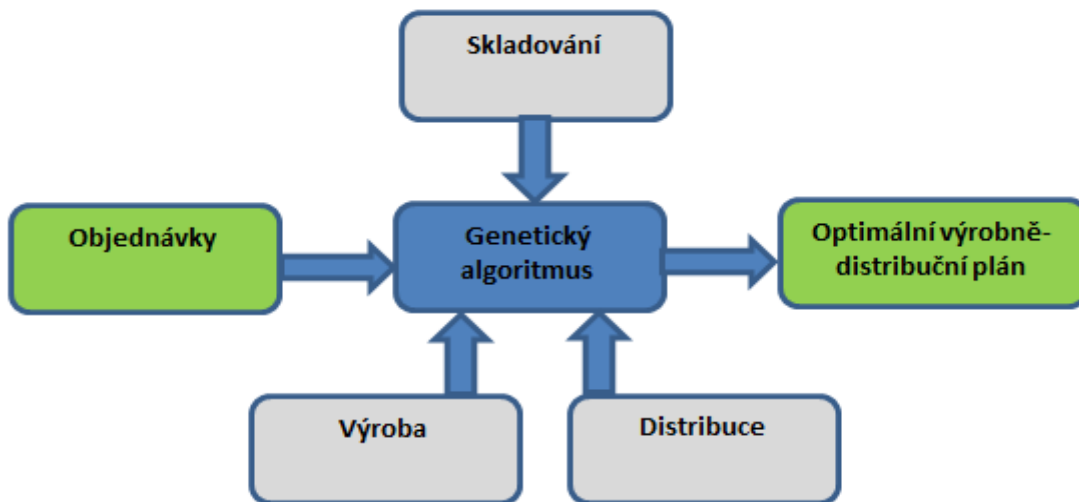
Disertační práce se v této kapitole zabývá sestavením konkrétního algoritmu včetně popisu jednotlivých kroků a vysvětlení principu fungování modelu.

4.2.1 Geneze návrhu genetického algoritmu pro výrobně-distribuční řetězec

Jak již bylo uvedeno v analytické části, výrobně-distribuční plán (rozvrh) lze sestavit:

- manuálně,
- pomocí exaktních metod,
- pomocí heuristických metod.

Manuální řešení je velmi neefektivní, časově téměř neřešitelné. Exaktní metody jako např. lineární programování jsou vhodné jen do omezeného počtu kombinací. Nejlepší řešení pro daný model představuje použití heuristických metod a zejména genetických algoritmů.



Obrázek 21 Výchozí popis modelu pro výrobně-distribuční řetězec (autor)

Obrázek 21 popisuje genezi problému. Výchozí údaje jsou hodnoty z objednávky. Genetický algoritmus na základě principů evoluce generuje nové jedince (řešení) a postupnými kroky dojde k optimálnímu nastavení výrobně-distribučního plánu.

Pro navržený model je nutno vymežit následující pojmy:

Jedinec a gen

V závislosti na počtu zákazníků, výrobků a dopravních prostředků lze stanovit optimální výrobně-distribuční plán.

Jednotlivý **výrobně-distribuční plán** je nazýván **jedincem**. Každý jedinec se skládá z genů. Délka jedince je určena počtem genů, které odpovídají počtu výrobků v objednávce.

Každý výrobek bude charakterizován trojicí $M_i Z_j D_k$ a nazýván **genem** (obrázek 22):

- první pozice - typ výrobku,
- druhá pozice - zákazník,
- třetí pozice - číslo dopravního prostředku.

Typ výrobku	Zákazník	Číslo dopr. prostředku
M_i	Z_j	D_k

Obrázek 22 Znárodnění genu (autor)

kde:

M ...typ výrobku,

Z ...zákazník,

D ...dopravní prostředek,

i, j, k ...indexy, které představují pořadí (číslo) výrobku, zákazníka a dopravního prostředku,

M_i nabývá hodnot ($A, B, C, D \dots$),

Z_j nabývá hodnot ($a, b, c \dots$),

D_k nabývá hodnot ($1, 2, 3 \dots$).

Typ výrobku a zákazník musí odpovídat objednavce, tedy první dvojice genu je fixní a nelze ji měnit. Lze pouze permutovat (přehazovat mezi sebou) výrobky na výrobní lince.

Fitness funkce F_i (hodnota účelové funkce)

Jedná se o ohodnocení kvality daného jedince. Nejlepší jedinec představuje takový výrobně-distribuční plán, kde celkové relevantní výrobní a logistické náklady NCo jsou minimální, neboli hodnota fitness funkce F_i nabývá svého minima.

$$F_i = NCo = NVp + Ns + NZd \quad (Kč) \quad (4)$$

kde:

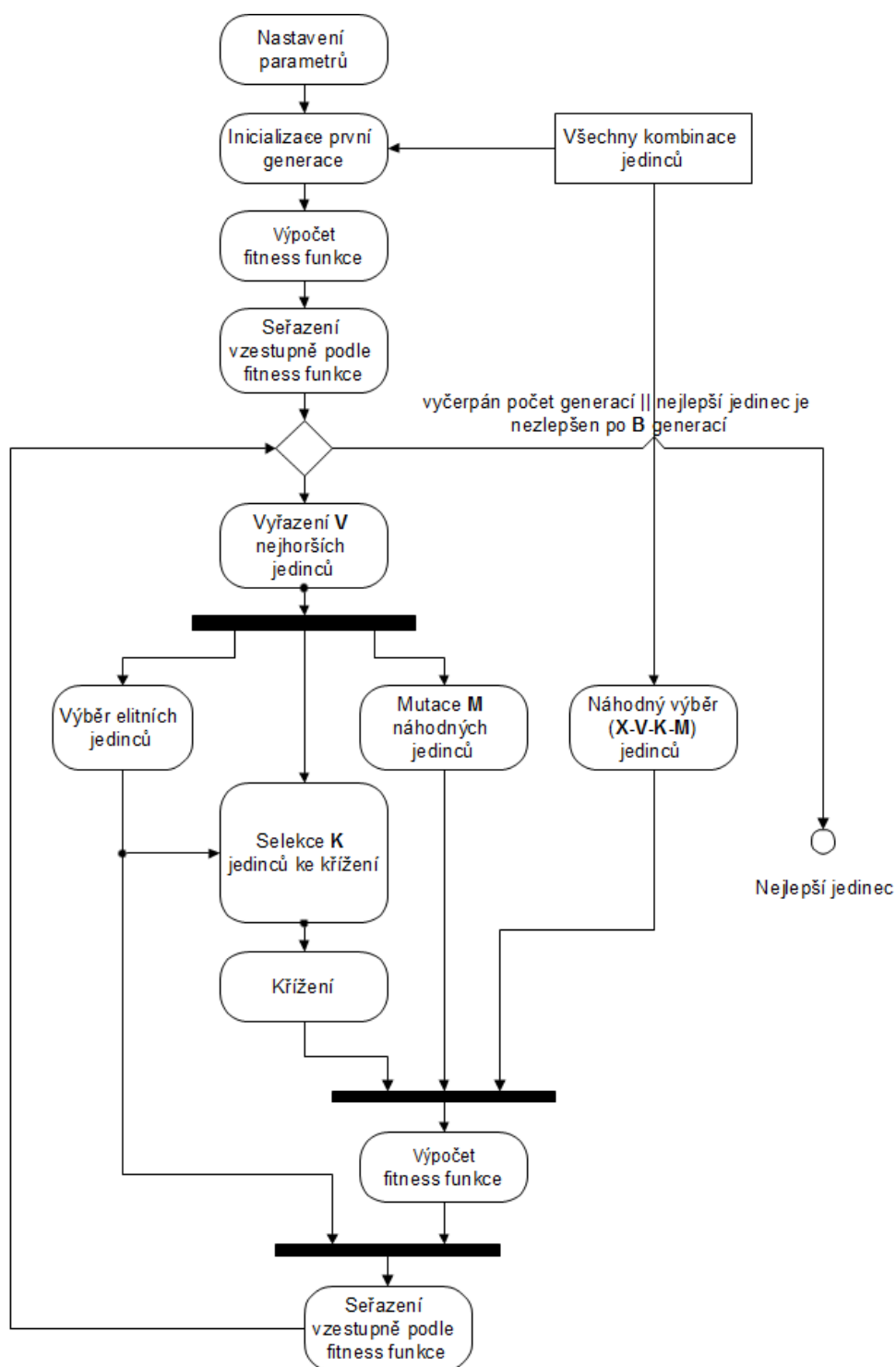
NCo – celkové relevantní výrobní a logistické náklady (Kč),

NVp – celkové náklady spojené s přestavbou (Kč),

Ns – celkové skladovací náklady (Kč),

NZd – celkové distribuční náklady (Kč).

Z výše popsaného vychází navržený algoritmus pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku, který je znázorněn pomocí síťového diagramu na obrázku 23. Z důvodu následného testování vybraných variant a parametrů návrhu řešení zde jsou vysvětleny jednotlivé kroky genetického algoritmu.



Obrázek 23 Síťový diagram genetického algoritmu pro výrobně-distribuční řetězec (autor)

kde:

X - velikost/mohutnost generace,

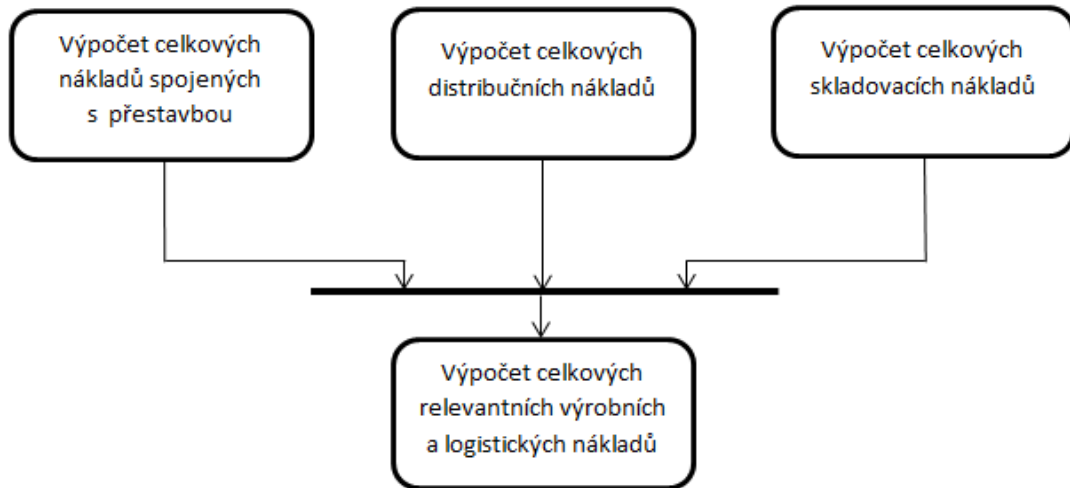
V - počet (procento/podíl) vyřazovaných jedinců,

M - počet zmutovaných jedinců,

K - počet zkřížených jedinců,

B - počet iterací, kdy nejlepší jedinec je shodný.

Obrázek 24 popisuje výpočet fitness funkce (hodnoty účelové funkce) daného jedince v daném genetickém algoritmu. Jedná se o součet nákladů spojených s přestavbou, skladovacích nákladů a distribučních nákladů.



Obrázek 24 Schéma výpočtu hodnoty fitness funkce jedince (autor)

4.2.2 *Popis jednotlivých kroků genetického algoritmu*

Jednotlivé kroky algoritmu jsou:

1. Nastavení parametrů.
2. Inicializace první generace.
3. Výpočet fitness funkce (hodnoty účelové funkce).
4. Seřazení vzestupně podle fitness funkce.
5. Rozhodovací funkce.
 - Vyřazení **V** nejhorších jedinců.
 - Výběr elitních jedinců.
 - Selektce **K** jedinců ke křížení a jejich křížení.
 - Mutace **M** náhodných jedinců.
 - Náhodný výběr (**X** – **V** – **K** – **M**) jedinců.
 - Výpočet fitness funkce.
6. Seřazení vzestupně podle fitness funkce.
7. Označení nejlepšího jedince.

Jednotlivé kroky algoritmu lze charakterizovat takto:

1. *Nastavení parametrů*

Nastavení parametrů pro výrobně-distribuční plán výrobního podniku. Jedná se o nastavení parametrů výroby (plánovací horizont, kapacita stroje, kapacita dopravního prostředku atd.), parametry celkové objednávky za dané období, určení jednotlivých nákladů spojených s přestavbou, jednotlivých skladovacích nákladů a jednotlivých distribučních nákladů.

2. *Inicializace první generace*

Jedná se o náhodný výběr jedinců (bez výpočtu hodnoty účelové funkce) z množiny všech jedinců.

3. *Výpočet fitness funkce (hodnoty účelové funkce)*

Hodnota účelové funkce (fitness funkce) daného jedince vyjadřuje celkové relevantní výrobní a logistické náklady daného jedince.

a. Náklady spojené s přestavbou NVp

Odvíjejí se od nákladů spojených s přestavbou výrobního zařízení. Tedy pokud se ve výrobním řetězci nezmění písmeno na první pozici (typ výrobku), budou nulové. Pokud se v řetězci objeví u první pozice změna, budou přičteny náklady spojené s přestavbou výrobního zařízení.

1. jedinec						Náklady celkem v Kč
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	A	A	B	B	B	
Náklady spojené s přestavbou	0	0	20	0	0	20

Matematický zápis 1. jedince		Celkem
Délka	A, A, B, B, B	5
Fitness	0, 0, 20, 0, 0	20

2. jedinec						Náklady celkem v Kč
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	A	B	B	A	B	
Náklady spojené s přestavbou	0	20	0	20	20	60

Matematický zápis 2. jedince		Celkem
Délka	A, B, B, A, B	5
Fitness	0, 20, 0, 20, 20	60

3. jedinec						Náklady celkem v Kč
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	B	A	B	B	A	
Náklady spojené s přestavbou	0	20	20	0	20	60

Matematický zápis 3. jedince		Celkem
Délka	B, A, B, B, A	5
Fitness	0, 20, 20, 0, 20	60

Obrázek 25 Náklady spojené s přestavbou NVp (autor)

Obrázek 25 ukazuje **ilustrační příklad** tří jedinců (při ilustrační kapacitě stroje 1 výrobek za 1 den). U prvního jedince dochází ke změně výroby výrobku ($A \Rightarrow B$), kde náklady spojené s přestavbou činí 20 Kč. U druhého jedince dochází třikrát ke změně výroby výrobku, a proto náklady činí celkem 60 Kč. U třetího jedince dochází také třikrát ke změně výroby. Náklady spojené s přestavbou mohou být pro každý výrobek odlišné (záleží na technologické náročnosti přestavby, v tomto ilustračním případě byly zvoleny ve stejné výši pro lepší pochopení problému).

b. Distribuční náklady NZd

Obrázek 26 ukazuje **ilustrační příklad** tří jedinců (stejní jedinci jako na obrázku 25, avšak do genu je přidána druhá a třetí pozice – zákazník a číslo dopravního prostředku. Minimální kapacita dopravního prostředku je stanovena na 1 výrobek, maximální kapacita dopravního prostředku je stanovena na 3 výrobky).

Nejprve nalezneme všechny geny, které končí stejným číslem dopravního prostředku (třetí pozice), dle druhé pozice (typ zákazníka) určíme distribuční náklady.

U prvního jedince první dva výrobky přepraví vůz 1. Jedná se o cestu k zákazníkovi **a** a **b**, která je vyjádřena distribučními náklady ve výši 18 Kč, druhé dva výrobky přepraví vůz 2 a poslední výrobek přepraví vůz 3. Pro výpočet distribučních nákladů využívá algoritmus principu hledání nejkratší cesty (viz obrázek 27), Celkové náklady spojené s přestavbou a distribučními náklady prvního jedince budou $20 + 48 = 68$ Kč.

1. jedinec						Náklady celkem v Kč
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	Aa1	Ab1	Ba2	Ba2	Bb3	
Náklady spojené s přestavbou	0	0	20	0	0	20
Distribuční náklady	0	18	0	14	16	48

Matematický zápis 1. jedince			Celkem
Délka	Aa1, Ab1, Ba2, Ba2, Bb3		
Délka	Aa1, Ab1, Ba2, Ba2, Bb3		5
Fitness	0, 18, 20, 14, 16		68

2. jedinec						Náklady celkem v Kč
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	Aa1	Ba1	Ba1	Ab2	Bb2	
Náklady spojené s přestavbou	0	20	0	20	20	60
Distribuční náklady	0	0	14	0	16	30

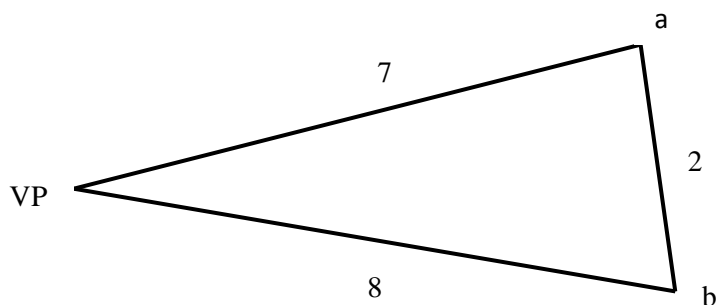
Matematický zápis 2. jedince			Celkem
Délka	Aa1, Ba1, Ba1, Ab2, Bb2		
Délka	Aa1, Ba1, Ba1, Ab2, Bb2		5
Fitness	0, 20, 14, 20, 36		90

3. jedinec						Náklady celkem v Kč
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	Ba1	Aa2	Ba3	Bb3	Ab3	
Náklady spojené s přestavbou	0	20	20	0	20	60
Distribuční náklady	14	14	0	0	18	46

Matematický zápis 3. jedince			Celkem
Délka	Ba1, Aa2, Ba3, Bb3, Ab3		
Délka	Ba1, Aa2, Ba3, Bb3, Ab3		5
Fitness	14, 34, 20, 0, 38		106

Obrázek 26 Náklady spojené s přestavbou a distribuční náklady (autor)

Obrázek 27 znázorňuje **ilustrační příklad** pro distribuční náklady mezi výrobním podnikem (vrchol **VP**) a jednotlivými zákazníky (vrcholy **a** a **b**). Hrany znázorňují distribuční náklady v Kč. Algoritmus vybere nejkratší cestu. Je uvažována doprava vlastní.



Obrázek 27 Vzdálenosti mezi jednotlivými vrcholy (autor)

kde:

VP...výrobní podnik,

a,b...zákazník.

c. Skladovací náklady N_s

Obrázek 28 popisuje **ilustrační příklad 3** jedinců (stejní jedinci jako na obrázku 26, pro ilustraci jsou uvedeny skladovací náklady takto: výrobek A = 6 Kč/den, výrobek B = 4 Kč/den). Opět nalezneme všechny geny končící stejným číslem dopravního prostředku. Náklady určíme dle rozdílu v pozici těchto genů. Skladovací náklady vychází z ceny za skladování za den a z počtu dní skladem. U prvního jedince jsou celkové skladovací náklady

10 Kč. Celkové relevantní výrobní a logistické náklady prvního jedince jsou 78 Kč, což vyjadřuje jeho hodnotu fitness funkce.

1. jedinec						Náklady celkem
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobek	Aa1	Ab1	Ba2	Ba2	Bb3	
Výrobní náklady	0	0	20	0	0	20
Dopravní náklady	0	18	0	14	16	48
Dní skladem	1	0	1	0	0	
Skladovací náklady	6	0	4	0	0	10

Matematický zápis 1. jedince		Celkem
Délka	Aa1, Ab1, Ba2, Ba2, Bb3	5
Fitness	6, 18, 24, 14, 16	78

2. jedinec						Náklady celkem
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobek	Aa1	Ba1	Ba1	Ab2	Bb2	
Výrobní náklady	0	20	0	20	20	60
Dopravní náklady	0	0	14	0	16	30
Dní skladem	2	1	0	1	0	
Skladovací náklady	12	4	0	6	0	22

Matematický zápis 2. jedince		Celkem
Délka	Aa1, Ba1, Ba1, Ab2, Bb2	5
Fitness	12, 24, 14, 26, 36	112

3. jedinec						Náklady celkem
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobek	Ba1	Aa2	Ba3	Bb3	Ab3	
Výrobní náklady	0	20	20	0	20	60
Dopravní náklady	14	14	0	0	18	46
Dní skladem	0	0	2	1	0	
Skladovací náklady	0	0	8	4	0	12

Matematický zápis 3. jedince		Celkem
Délka	Ba1, Aa2, Ba3, Bb3, Ab3	5
Fitness	14, 34, 28, 4, 38	118

Obrázek 28 Náklady spojené s přestavbou, distribuční a skladovací náklady (autor)

4. Seřazení vzestupně podle fitness funkce

Seřazení jedinců vzestupně dle jejich hodnoty fitness funkce.

5. Rozhodovací funkce

Dokud není splněna podmínka „vyčerpán počet iterací nebo jedinec s nejnižší hodnotou je po B generací stejný“, tak následují tyto mezikroky:

- **Vyřazení V nejhorších jedinců**

Vyřazení probíhá na základě hodnoty fitness funkce.

- **Výběr elitních jedinců**

Jedinci, kteří postupují přímo do další generace, jsou vybráni dle nastavených parametrů výběru. Cílem je předejít ztrátě nejlepších jedinců a tím zrychlit průběh genetického algoritmu.

- **Selekce K jedinců ke křížení a jejich křížení**

Selekce jedinců probíhá dle nastaveného selekčního kritéria **turnajový výběr** a poté probíhá křížení dle nastavených pravidel (obrázek 29). Jedná se o permutační křížení.

V prvním kroku křížení je náhodně vybrán bod křížení (v tomto případě za 3. genem v jedinci).

V druhém kroku křížení vznikají 2 noví jedinci (křížením z původních jedinců), které nahrazují v generaci jedince původní.

Ve třetím kroku křížení je provedena úprava číslování dopravního prostředku (označeno zeleně), aby byla dodržena logika, tzn. že první výrobek naloží kamion č. 1.

		1. krok křížení						Matematický zápis jedince			
		2. jedinec						Délka	Celkem		
1. krok křížení	Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ		Ax1, Bx1, Bx1, Ay2, By2	5		
	Výrobně-distribuční plán	Ax1	Bx1	Bx1	Ay2	By2			12, 24, 14, 26, 36	112	
	Náklady spojené s přestavbou	0	20	0	20	20	60				
	Distribuční náklady	0	0	14	0	16	30				
	Dní skladem	2	1	0	1	0					
	Skladovací náklady	12	4	0	6	0	22				
		3. jedinec						Matematický zápis jedince			
		Náklady						Délka	Celkem		
2. krok křížení	Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ		Bx1, Ax2, Bx3, By3, Ay3	5		
	Výrobně-distribuční plán	Bx1	Ax2	Bx3	By3	Ay3		22, 40, 28, 4, 38	132		
	Náklady spojené s přestavbou	0	20	20	0	20	60				
	Distribuční náklady	14	14	0	0	18	46				
	Dní skladem	2	1	0	1	0					
	Skladovací náklady	8	6	8	4	0	26				
		nový jedinec						Matematický zápis jedince			
		Náklady						Délka	Celkem		
3. krok křížení	Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ		Bx1, Ax2, Bx3, By3, Ay3	5		
	Výrobně-distribuční plán	Ax1	Bx1	Bx1	By3	Ay3		12, 24, 14, 4, 36	90		
	Náklady spojené s přestavbou	0	20	0	0	20	40				
	Distribuční náklady	0	0	14	0	16	30				
	Dní skladem	2	1	0	1	0					
	Skladovací náklady	12	4	0	4	0	20				
		nový jedinec						Matematický zápis jedince			
		Náklady						Délka	Celkem		
3. krok křížení	Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ		Bx1, Ax2, Bx3, Ay2, By2	5		
	Výrobně-distribuční plán	Bx1	Ax2	Bx3	Ay2	By2		12, 38, 34, 26, 36	146		
	Náklady spojené s přestavbou	0	20	20	20	20	80				
	Distribuční náklady	0	0	14	0	16	30				
	Dní skladem	0	3	0	1	0					
	Skladovací náklady	12	18	0	6	0	36				
		nový jedinec						Matematický zápis jedince			
		Náklady						Délka	Celkem		
3. krok křížení	Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ		Bx1, Ax2, Bx3, By3, Ay3	5		
	Výrobně-distribuční plán	Ax1	Bx1	Bx1	By2	Ay2		12, 24, 14, 4, 36	90		
	Náklady spojené s přestavbou	0	20	0	0	20	40				
	Distribuční náklady	0	0	14	0	16	30				
	Dní skladem	2	1	0	1	0					
	Skladovací náklady	12	4	0	4	0	20				
		nový jedinec						Matematický zápis jedince			
		Náklady						Délka	Celkem		
3. krok křížení	Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ		Bx1, Ax2, Bx3, Ay2, By2	5		
	Výrobně-distribuční plán	Bx1	Ax2	Bx3	Ay2	By2		12, 38, 34, 26, 36	146		
	Náklady spojené s přestavbou	0	20	0	0	20	40				
	Distribuční náklady	0	0	14	0	16	30				
	Dní skladem	2	1	0	1	0					
	Skladovací náklady	12	4	0	4	0	20				

Obrázek 29 Křížení jedinců (autor)

- **Mutace M náhodných jedinců**

V tomto mezikroku probíhá náhodný výběr jedinců a jejich mutace, a poté výpočet hodnoty nových jedinců. Obrázek 30 popisuje **ilustrační příklad** mutace 1. jedince.

V prvním kroku mutace jsou náhodně vybrány 2 geny v 2. jedinci (1. a 4. gen - znázorněno červeně na obrázku 30).

Ve druhém kroku mutace dochází k přehození jejich pořadí v jedinci, čímž vznikne nový jedinec. Nové pořadí genů v jedinci ovlivní náklady spojené s přestavbou, distribuční i skladovací náklady. Hodnota fitness funkce nového jedince je vyšší (tedy horší) než u původního jedince. Tento nový jedinec bude v následujících generacích vyřazen.

Jako 3. krok mutace je provedena úprava číslování dopravního prostředku (označeno zeleně), aby byla dodržena logika, tzn. že první výrobek naloží kamion č. 1.

1. jedinec						Náklady celkem
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	Ax1	Ay1	Bx2	Bx2	By3	
Náklady spojené s přestavbou	0	0	20	0	0	20
Distribuční náklady	0	18	0	14	16	48
Dní skladem	1	0	1	0	0	
Skladovací náklady	6	0	4	0	0	10
Matematický zápis jedince			Celkem			
Délka	Ax1, Ay1, Bx2, Bx2, By3			5		
Fitness	6, 18, 24, 10, 15		73			
1. jedinec						Náklady celkem
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	Bx2	Ay1	By2	Ay1	By3	
Náklady spojené s přestavbou	0	20	20	20	20	80
Distribuční náklady	0	0	14	18	16	48
Dní skladem	2	2	0	0	0	
Skladovací náklady	8	12	0	0	0	20
Matematický zápis jedince			Celkem			
Délka	Bx2, Ay1, Bx2, Ax1, By3			5		
Fitness	8, 32, 34, 38, 36		148			
1. jedinec						Náklady celkem
Den	PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	
Výrobně-distribuční plán	Bx1	Ay2	Bx1	Ax2	By3	
Náklady spojené s přestavbou	0	20	20	20	20	80
Distribuční náklady	0	0	14	18	16	48
Dní skladem	2	2	0	0	0	
Skladovací náklady	8	12	0	0	0	20
Matematický zápis jedince			Celkem			
Délka	Bx1, Ay2, Bx1, Ax2, By3			5		
Fitness	8, 32, 34, 38, 36		148			

Obrázek 30 Mutace jedinců (autor)

- **Náhodný výběr ($X - V - K - M$) jedinců**

Probíhá vygenerování $X - V - K - M$ jedinců na doplnění počtu jedinců v generaci. Tento mezikrok má zamezit zacyklení algoritmu.

6. Seřazení vzestupně podle fitness funkce

7. Označení nejlepšího jedince

Jako optimální řešení je vybrán jedinec s nejnižší hodnotou fitness funkce, pokud nastane jedna z těchto podmínek:

- *je vyčerpán počet iterací,*
- *jedinec s nejnižší hodnotou je po **B** generací stejný.*

4.3 Ověření funkčnosti navrženého algoritmu pomocí simulačního programu Matlab

Navržený genetický algoritmus autorem práce pro výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku je nutné testovat pro zjištění správnosti řešení. Jako vhodný nástroj je zvolen program Matlab, což je integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty a návrhy algoritmů (znázorňuje řešení při postupném zadávání algoritmu). Důvody pro zvolení programu Matlab jsou jeho jednoduché prostředí a fakt, že obsahuje jádro na genetické algoritmy a jejich výpočet.

Model vychází z výše specifikovaného výrobního podniku, pro ověření modelu byly zadány následující ilustrační hodnoty:

- plánovací horizont 8 dní,
- kapacita stroje 1 výrobek za 1 den,
- kapacita dopravního prostředku 2 výrobky,
- počet zákazníků 3,
- počet typů výrobků 3,
- počet objednaných výrobků 8,
- výše nákladů spojených s přestavbou, skladovací náklady a distribuční náklady (viz obrázky 34-36).

Cílem modelu je určit takový výrobně-distribuční plán, kdy celkové relevantní výrobní a logistické náklady budou minimální.

Jak je vidět na obrázku 31, je nutné nejprve zadat parametry optimalizačního problému:

- parametry výroby,
- objednávku,
- náklady spojené s přestavbou,
- skladovací náklady,
- distribuční náklady.

Část zdrojového kódu navrženého algoritmu pro nastavení parametrů optimalizačního problému je uvedena v příloze A.

Parametry výroby představují:

- *plánovací horizont* – nastavuje interval, pro který bude algoritmus počítat optimální výrobní plán,
- *kapacita stroje* – vyjadřuje počet výrobků, které je stroj schopen vyrobit za časovou jednotku (v tomto případě den),

- *kapacita dopravního prostředku* – vyjadřuje počet výrobků, které lze přepravit na konkrétním dopravním prostředku.

The screenshot shows a software interface for setting optimization parameters. The 'Parametry výroby' section is highlighted with a black oval. It contains three dropdown menus: 'Plánovací horizont' set to '8 dní', 'Kapacita stroje' set to '1 výrobek za den', and 'Kapacita dopravního prostředku' set to '2 výrobky'. Below this are sections for 'Objednávka' (with 'Počet zákazníků' and 'Počet typů výrobků' both set to 1), 'Náklady spojené s přestavbou', 'Skladovací náklady', and 'Distribuční náklady'. Each of these latter sections has a 'Zadat...' button and a 'Stav' dropdown set to 'Nezadáno'. A 'Pokračovat' button is located at the bottom right.

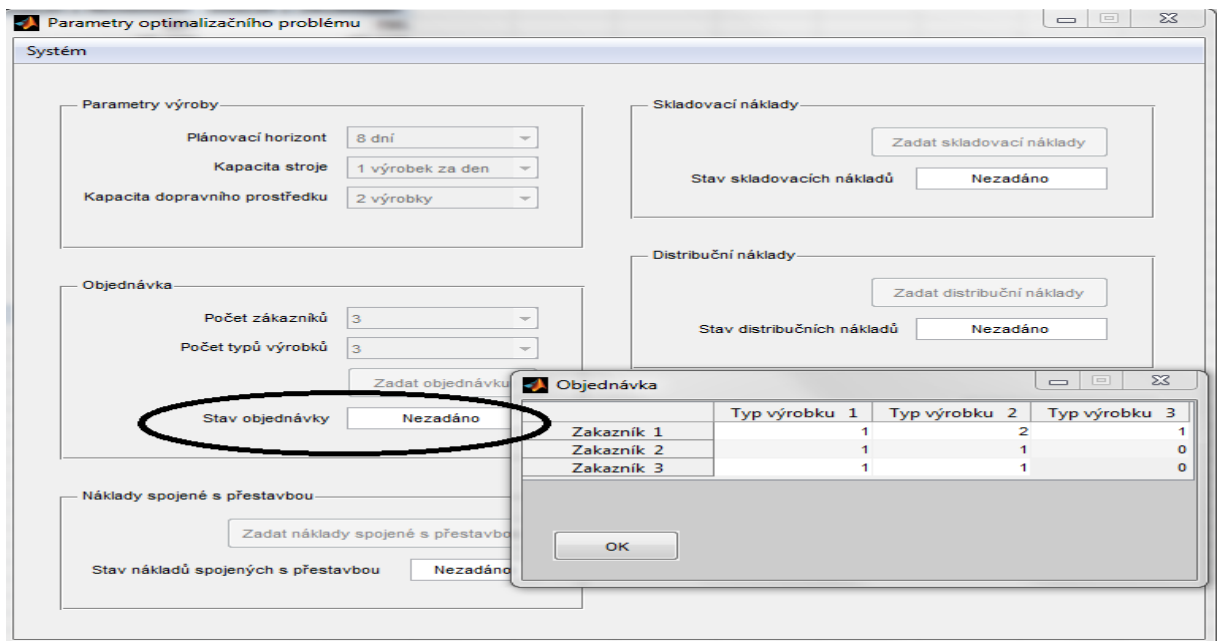
Obrázek 31 Určení parametrů výroby (autor)

Obrázek 32 popisuje parametry objednávky. Nejprve je nutno zadat počet zákazníků a počet typů výrobků. Část zdrojového kódu navrženého algoritmu pro určení parametrů objednávky je uvedena v příloze B.

This screenshot is identical to the previous one, but the 'Objednávka' section is highlighted with a black oval. In this section, 'Počet zákazníků' and 'Počet typů výrobků' are both set to 3. The 'Zadat objednávku' button is visible below these fields. The other sections remain unchanged from the previous screenshot.

Obrázek 32 Určení parametrů objednávky (autor)

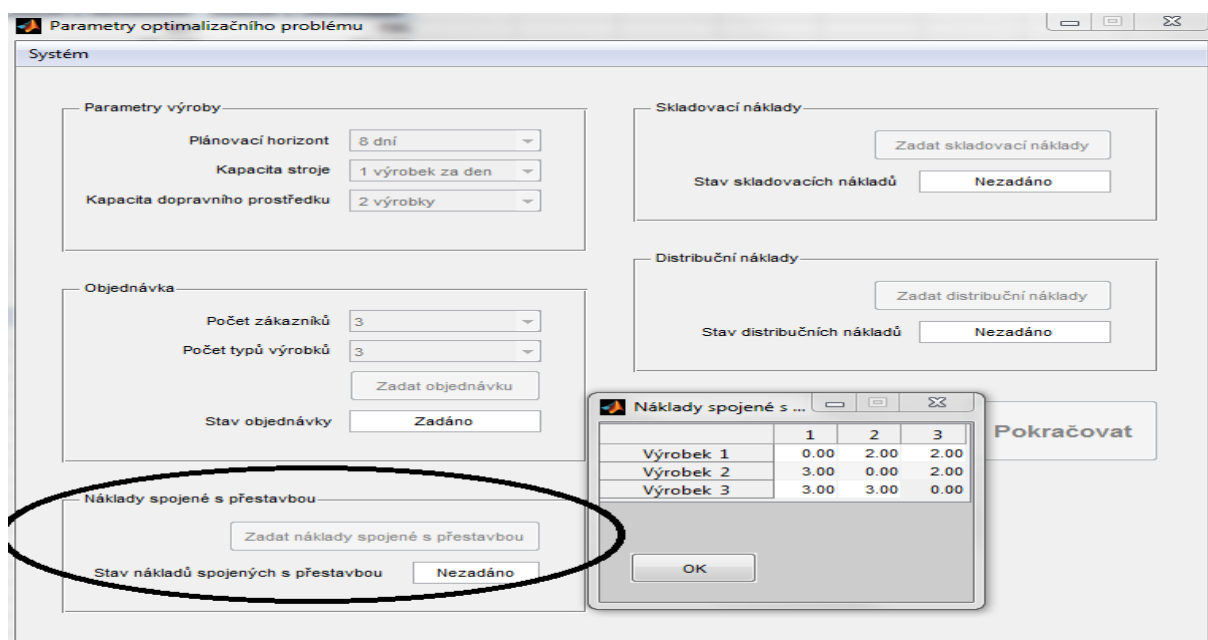
Pomocí funkce „zadat objednávku“ se zobrazí matice objednávky (obrázek 33).



Obrázek 33 Určení parametru stavu objednávky (autor)

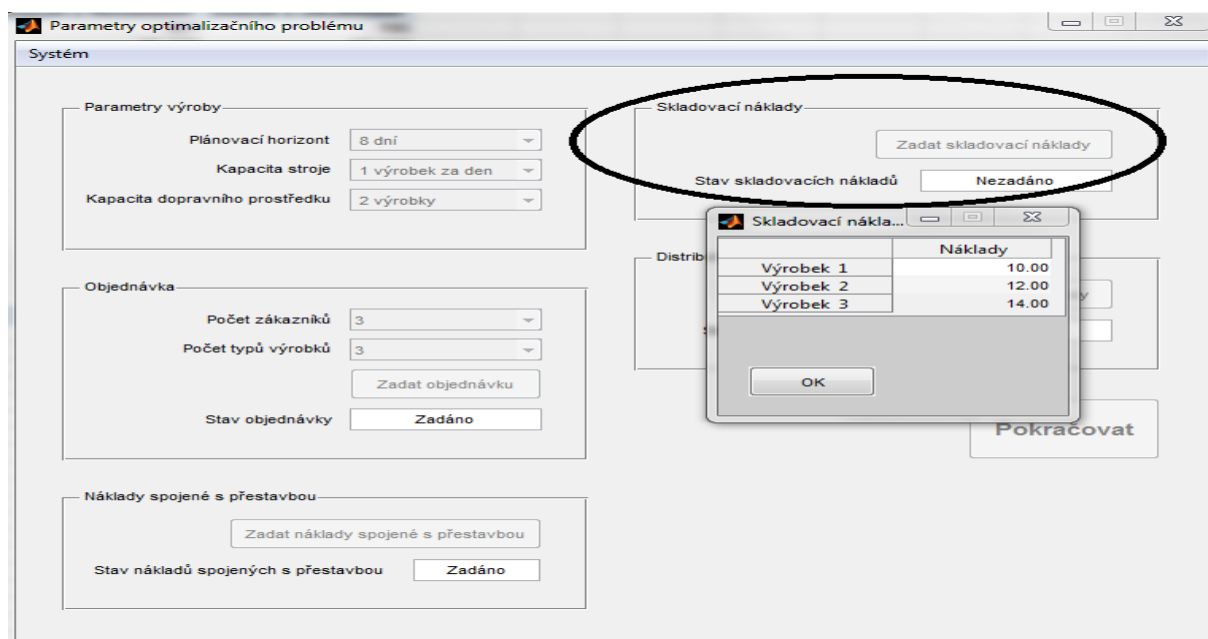
Následně je definována objednávka na 8 výrobků (3 druhy výrobků pro 3 zákazníky – viz obrázek 32). Pokud je zadán špatný formát čísla, objednávku systém nepotvrdí a nahlásí chybové hlášení. Pokud je objednávka vyplněna správně, software označí stav objednávky „zadáno“.

Na obrázku 34 je znázorněno zadávání nákladů spojených s přestavbou při změně výroby mezi jednotlivými výrobky. Matice výrobků odpovídá počtu typů výrobků z objednávky a jsou zde uvedeny veškeré možné kombinace přestaveb na výrobní lince. Pokud je zadán špatný formát čísla, výrobní náklady systém nepotvrdí a nahlásí chybové hlášení. Pokud jsou náklady spojené s přestavbou zadány správně, software označí stav objednávky „zadáno“. Část zdrojového kódu navrženého algoritmu pro určení nákladů spojených s přestavbou je uvedena v příloze C.



Obrázek 34 Určení nákladů spojených s přestavbou (autor)

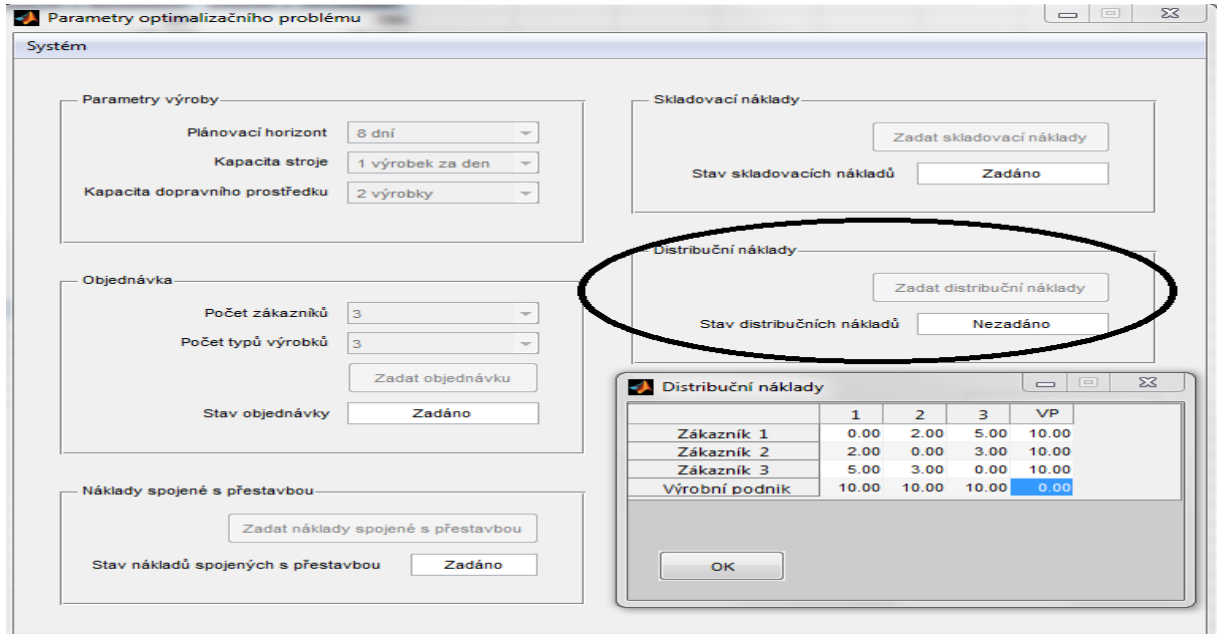
Obrázek 35 zobrazuje zadávání skladovacích nákladů pro jednotlivé výrobky za 1 den (v případě, že je výroba a expedice v jeden den, skladovací náklady jsou nulové). Pokud je zadán špatný formát čísla, skladovací náklady systém nepotvrdí a nahlásí chybové hlášení. Pokud jsou skladovací náklady zadány správně, software označí stav objednávky „zadáno“. Část zdrojového kódu navrženého algoritmu pro určení skladovacích nákladů je uvedena v příloze D.



Obrázek 35 Určení skladovacích nákladů (autor)

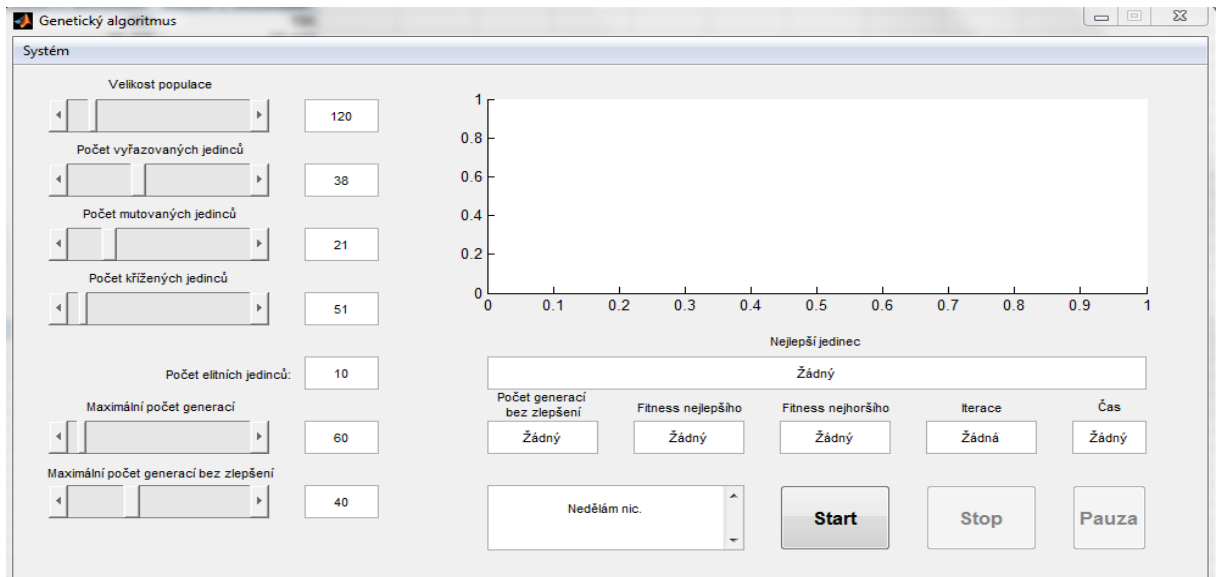
Na obrázku 36 je znázorněno zadávání distribučních nákladů mezi výrobním podnikem a zákazníky, které vycházejí z dlouhodobých kalkulací výrobního podniku. Pokud

je zadán špatný formát čísla, distribuční náklady systém nepotvrdí a nahlásí chybové hlášení. Pokud jsou distribuční náklady zadány správně, software označí stav objednávky „zadáno“. Část zdrojového kódu navrženého algoritmu pro určení distribučních nákladů je uvedena v příloze E.



Obrázek 36 Určení distribučních nákladů (autor)

Nyní jsou veškeré parametry zadány a program se přepne do dalšího zobrazovacího pole pro nastavení parametrů algoritmu.



Obrázek 37 Nastavení parametrů algoritmu (autor)

Obrázek 37 zobrazuje parametry algoritmu:

- ***Velikost populace***

Určuje počet jedinců, které se vygenerují do počáteční generace z matice všech možných jedinců. V každé další generaci počítá algoritmus se stejně velkou populací. Čím je menší populace, tím je menší pravděpodobnost nalezení nejlepšího jedince už v této generaci, a proto roste počet generací. Větší populace ovšem zvyšuje časovou náročnost výpočtu.

- ***Počet vyřazovaných jedinců***

Vyjadřuje počet jedinců (seřazených vzestupně dle hodnoty fitness funkce), které budou z této generace vyřazeni. Hodnota fitness funkce vyjadřuje celkové relevantní výrobní a logistické náklady, nejhorší jedinci nepředstavují optimální řešení a není třeba s nimi do další generace počítat.

- ***Počet mutovaných jedinců***

Určuje počet jedinců, kteří podstoupí proces mutace a do další generace postoupí jejich potomci. Jedinci pro mutaci jsou náhodně vybráni z těch jedinců, kteří nebyli vyřazeni z dané generace na základě hodnoty účelové funkce.

- ***Počet křížených jedinců***

Určuje počet jedinců, kteří jsou vybráni na proces křížení. Do další generace postoupí jejich potomci. Jedinci pro křížení jsou vybráni pomocí selekčního kritéria turnajový výběr z těch jedinců, kteří nebyli vyřazeni z dané generace na základě hodnoty účelové funkce.

- ***Počet elitních jedinců***

Vyjadřuje počet jedinců, kteří postupují přímo do další generace. Cílem je neztratit nejlepší jedince v dané generaci křížením nebo mutací.

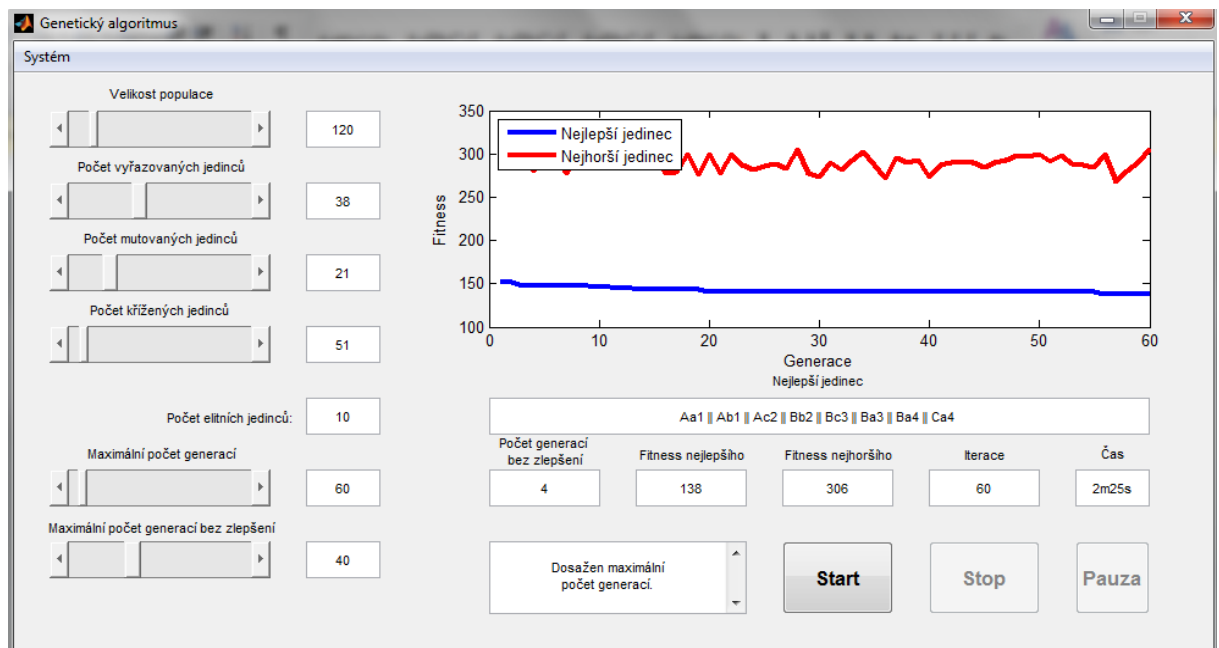
- ***Maximální počet generací***

Určuje počet generací, které v genetickém algoritmu proběhnou. Po vyčerpání zadaného počtu generací je prohlášen za optimální řešení jedinec s nejnižší hodnotou účelové funkce.

- ***Maximální počet generací bez zlepšení***

Vyjadřuje počet generací, které proběhnou v algoritmu, pokud nebude nalezen jiný jedinec s nižší hodnotou fitness funkce.

V dalším kroku je spuštěn samotný výpočet genetického algoritmu, což zobrazuje obrázek 38, na kterém je znázorněn grafický průběh změn hodnoty fitness funkce pro nejlepšího a nejhoršího jedince. Po spuštění pomocí tlačítka „start“ se vygeneruje 1. generace a následně v průběhu výpočtu hodnota nejlepšího jedince s přibývajícými generacemi klesá. Části zdrojového kódu navrženého algoritmu pro inicializaci první generace, výpočet fitness funkce a křížení jsou uvedeny v přílohách F, G a H.



Obrázek 38 Nejlepší jedinec (autor)

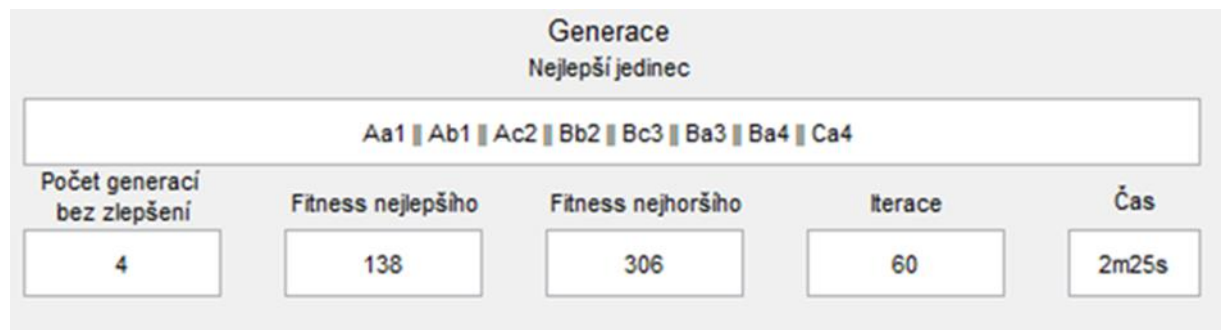
Pod grafickým průběhem je znázorněno:

- ***Generace – Nejlepší jedinec***
Zobrazuje nejlepšího jedince v aktuální generaci.
- ***Počet generací bez zlepšení***
Zobrazuje počet generací, kdy se nejlepší jedinec nezměnil.
- ***Fitness nejlepšího***
Vyjadřuje hodnotu účelové funkce nejlepšího jedince v aktuální generaci.
- ***Fitness nejhoršího***
Vyjadřuje hodnotu účelové funkce nejhoršího jedince v aktuální generaci.
- ***Iterace***
Aktuální iterace (generace) algoritmu.
- ***Informační okno***
Pokud je dosažen maximální počet generací, tak v informačním okně naskočí hlášení „Dosažen maximální počet generací.“ Pokud je dosažen maximální

počet generací bez zlepšení, tak v informačním okně naskočí hlášení „*Dosažen maximální počet generací bez zlepšení.*“ Výpočet genetického algoritmu je při této podmínce ukončen, aniž by byl dokončen maximální počet generací.

- **Čas**
Zobrazuje čas, který je potřebný na výpočet.
- **Start, stop, pauza** – tyto tlačítka spouští a zastavují průběh výpočtu.

Na obrázku 39 je popsán nejlepší jedinec uvedeného příkladu, který byl vypočten pomocí navrženého algoritmu. Znak II zobrazuje kapacitu stroje, tzn. kolik výrobků lze vyrobit za jeden den.



Obrázek 39 Detail nejlepšího jedince (autor)

Nejlepší jedinec, se tedy skládá z těchto genů:

$$F_{opt} = NCo = (Aa1, Ab1, Ac2, Bb2, Bc3, Ba3, Ba4, Ca4^3) = 138$$

Lze tedy říci, že nejlepší výrobně-distribuční plán (nejlepší jedinec) představuje výrobu 3 jednotek výrobku **A**, poté jsou vyrobeny 4 jednotky výrobku **B** a poslední je vyrobena jedna jednotka výrobku **C**. Druhá pozice v genu znázorňuje, pro jakého zákazníka se kdy výrobek vyrábí. Třetí pozice určuje dopravní prostředek, určený na rozvoz výrobků.

Na rozvoz této objednávky je třeba čtyř dopravních prostředků:

- vůz 1 přepraví dvě jednotky výrobku **A** ke dvěma zákazníkům (**a, b** – kombinovaná vykládka), výrobek **A** pro zákazníka **a** bude skladován 1 pracovní den,
- vůz 2 přepraví po jedné jednotce výrobku **A, B** ke dvěma zákazníkům (**c, b** – kombinovaná vykládka), výrobek **A** pro zákazníka **c** bude skladován 1 pracovní den,
- vůz 3 přepraví dvě jednotky výrobu **B** ke dvěma zákazníkům (**c, a** – kombinovaná vykládka), výrobek **B** pro zákazníka **c** bude skladován 1 pracovní den,

³ Pro praktické použití se musí vytvořit uživatelské rozhraní (jak se v IT oblasti říká „users friendly“), které přesně rozkóduje tohoto jedince.

- vůz 4 přepraví po jedné jednotce výrobku **B** a **C** k jednomu zákazníkovi **a**, výrobek **B** pro zákazníka **a** bude skladován 1 pracovní den.

Hodnota fitness funkce nejlepšího jedince je 138 Kč. Byl splněn cíl nalezením takového výrobně-distribučního plánu, kdy celkové relevantní výrobní a logistické náklady jsou minimální, v tomto ilustračním příkladu činí 138 Kč. Nejlepší jedinec byl vybrán po proběhnutí 60 iterací (generací) za 2 minuty 25 sekund.

Obrázek 40 znázorňuje nejlepšího jedince (jeho geny a také hodnotu účelové funkce) v jednotlivých generacích.

Iter.	Nejlepší jedinec										Fitness	Čas
1	Ac1	Ab2	Aa2	Bc1	Ba3	Ba3	Bb4	Ca4			152	0m2s
2	Ba1	Aa1	Bc2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			152	0m4s
3	Ba1	Ca1	Ab2	Aa2	Bb3	Ac3	Ba4	Bc4			148	0m6s
4	Aa1	Ba1	Bc2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			147	0m7s
5	Bc1	Ba2	Aa2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			147	0m9s
6	Bc1	Ba2	Aa2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			147	0m11s
7	Aa1	Ba1	Bc2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			147	0m13s
8	Aa1	Ba1	Bc2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			147	0m15s
9	Aa1	Ba1	Bc2	Ab3	Ac3	Ba4	Ca4	Bb5			147	0m17s
10	Aa1	Ab1	Ba2	Ca2	Ba3	Bc3	Ac4	Bb4			146	0m18s
11	Aa1	Ab1	Ba2	Ca2	Ba3	Bc3	Ac4	Bb4			146	0m20s
12	Ab1	Ba1	Ca2	Aa2	Ac3	Bb3	Bc4	Ba4			145	0m22s
13	Ab1	Ba1	Ca2	Aa2	Ac3	Bb3	Bc4	Ba4			145	0m24s
14	Aa1	Ab1	Ba2	Bc2	Ba3	Ca3	Ac4	Bb4			143	0m26s
15	Aa1	Ab1	Ba2	Bc2	Ba3	Ca3	Ac4	Bb4			143	0m29s
16	Aa1	Ab1	Ba2	Bc2	Ba3	Ca3	Ac4	Bb4			143	0m31s
17	Aa1	Ab1	Ba2	Bc2	Ba3	Ca3	Ac4	Bb4			143	0m34s
18	Aa1	Ab1	Ba2	Bc2	Ba3	Ca3	Ac4	Bb4			143	0m36s
19	Aa1	Ab1	Ba2	Bc2	Ba3	Ca3	Ac4	Bb4			143	0m39s
20	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m41s
21	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m44s
22	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m47s
23	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m49s
24	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m52s
25	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m55s
26	Ab1	Aa1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	0m58s
27	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m0s
28	Ab1	Aa1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m2s
29	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m5s
30	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m8s
31	Ab1	Aa1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m10s
32	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m13s
33	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m16s
34	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m18s
35	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m21s
36	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m23s
37	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m26s
38	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m29s
39	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m31s
40	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m34s
41	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m36s
42	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m39s
43	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m41s
44	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m44s
45	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m47s
46	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m49s
47	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m52s
48	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	1m54s
49	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Ba4	Bc4			141	1m57s
50	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Ba4	Bc4			141	1m59s
51	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Ba4	Bc4			141	2m2s
52	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	2m4s
53	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	2m7s
54	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Bc4	Ba4			141	2m10s
55	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Ba3	Ca3	Ba4	Bc4			141	2m12s
56	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Bc3	Ba3	Ba4	Ca4			138	2m15s
57	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Bc3	Ba3	Ba4	Ca4			138	2m17s
58	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Bc3	Ba3	Ba4	Ca4			138	2m20s
59	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Bc3	Ba3	Ba4	Ca4			138	2m23s
60	Aa1	Ab1	Ac2	Bb2	Bc3	Ba3	Ba4	Ca4			138	2m26s

Obrázek 40 Znárodnění průběhu výpočtů (autor)

4.4 Komparace navrženého řešení se stávajícím stavem na konkrétní výrobní podnik

V rámci ověřování algoritmu bylo vybráno 200 objednávek výrobního podniku Ardagh Group během celého roku 2014 tak, aby výsledek nebyl zkreslen sezónností (byly vybrány objednávky v obdobích s nejvyšší i nejnižší výrobou).

V práci se záměrně neuvádějí jména zákazníků a podrobné výsledky, neboť podléhají přísnému utajení Ardagh Group. Došlo také k jistému zjednodušení objednávek, tak aby nedocházelo ke zdlouhavému přepisování tisíců hodnot pro ověření v rámci disertační práce (proto například plánovací horizont byl volen maximálně na 14 dní, ve skutečnosti Ardagh Group má plánovací horizont minimálně 30 dní).

Nejprve byly objednávky zpracovány dosavadním systémem ve výrobním podniku Ardagh Group, což představuje plánovací systém AZAP Capacity Planning, který určil optimální výrobní plán na základě minimalizace výrobních nákladů. Poté byla pomocí MS Excelu určena optimální struktura distribuce s cílem minimalizace skladových a distribučních nákladů.

Souběžně byly objednávky zpracovány pomocí genetického algoritmu.

Na obrázku 41 jsou zobrazeny výsledky výpočtu dosavadním systémem a navrženým systémem plánování pomocí genetických algoritmů. Pro ilustraci je zde zachyceno 5 objednávek, všechny tyto objednávky jsou, včetně porovnání systémů a určení nejlepších jedinců, v databázi výrobního podniku Ardagh Group.

Tabulka 1 Porovnání mezi dosavadním systémem a navrženým systémem plánování

Objednávka	Fitness nejlepšího jedince	% úspora	Čas výpočtu	Nejlepší jedinec	Matematický zápis jedince
1	332 800	0,78	neuveden	Stávající systém	Cb1 Ca1 Ca1 Cc2 Ca3 Cc4 Bc5 Ba2 Bc2 Bb6 Bb6 Bb6 Aa4 Ac4 Ab5 Ac3 Aa3 Ab5
	330 200		14:31	Navržený systém	Ca1 Bb1 Aa1 Ac2 Ac2 Bb2 Cc3 Cb3 Ab3 Aa4 Ba4 Cc4 Ab5 Bc5 Bb5 Bc6 Ca6 Ca6
2	6900	0,00	neuveden	Stávající systém	Bb1 Aa2 Ag3 Ab4 Ae5 Cf6 Cg7 Cc8 Cg9 Cc10 Dd11 Dd12
	6900		2:25	Navržený systém	Bb1 Aa2 Ag3 Ab4 Ae5 Cf6 Cg7 Cc8 Cg9 Cc10 Dd11 Dd12
3	21340	2,86	neuveden	Stávající systém	Cc1 Ca1 Cc1 Da4 Da4 Db5 Da6 Aa7 Bb8 Ba6 Da6 Bb9 Ca10 Aa11 Aa10 Aa11 Ba12 Db11 Da12 Aa13 Bb12 Ba13 Bb13 Bb14 Db14 Db14 Da15 Db16
	20730		11:27	Navržený systém	Cc1 Da2 Bb3 Da4 Da4 Db5 Da6 Aa7 Bb8 Ba6 Ca9 Cc6 Ca10 Aa11 Aa10 Aa11 Ba12 Db11 Da12 Aa13 Bb12 Ba13 Bb13 Bb14 Db14 Db14 Da15 Db16
4	52300	8,60	neuveden	Stávající systém	Ca1 Ca1 Cc1 Cc2 Db3 Db4 Da3 Db3 Bb2 Db5 Da5 Bb6 Ba7 Bb2 Db8 Da8 Ba5 Aa9 Ba6 Da6 Da10 Bb11 Aa7 Aa9 Aa8 Bb10 Aa12 Da9
	47800		24:35:00	Navržený systém	Ca1 Da1 Ba1 Ba2 Db3 Db4 Da3 Db3 Bb2 Db5 Ca5 Bb6 Ba7 Bb2 Db8 Da8 Cc5 Aa9 Cc6 Da6 Da10 Bb11 Aa7 Aa9 Aa8 Bb10 Aa12 Da9
5	23700	0,00	neuveden	Stávající systém	Ja1 Fa2 Ia2 Aa3 Ca4 Ba4 Ea3 Ba5 Ea6 Bb7 Da7 Ha8 Gb9 Ja10 Ga11 Ca5
	23700		2:34	Navržený systém	Ja1 Fa2 Ia2 Aa3 Ca4 Ba4 Ea3 Ba5 Ea6 Bb7 Da7 Ha8 Gb9 Ja10 Ga11 Ca5

Zdroj: autor

Na základě vyhodnocení výsledků 200 objednávek se potvrdilo, že díky modelu na minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční

řetězec pomocí genetických algoritmů došlo ke snížení celkových relevantních výrobních a logistických nákladů v průměru o 2,73 %. Tato úspora vypadá na první pohled jako nevýznamná, nicméně to představuje roční úsporu v řádech stovek tisíc Kč.

V současnosti probíhá jednání s vedením výrobního podniku Ardagh Group o implementaci navrženého řešení do plánovacích systémů výrobního podniku.

5 VYHODNOCENÍ A DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Při studiu výše popsané problematiky došel autor k názoru, že minimalizace celkových relevantních výrobních a logistických nákladů pomocí manuálních výpočtů je nereálná v praktickém využití. Uvažované exaktní metody (např. lineární programování) byly vyřazeny z uvažování, neboť při složitějších úlohách je časová náročnost výpočtu neúměrně dlouhá a hardwarové vybavení ve většině výrobních podniků není dostatečné (výpočty by trvaly v řádu dnů).

Jako výpočetní program se autor rozhodl použít program Matlab, který splňuje veškeré požadavky pro daný genetický algoritmus, neboť obsahuje jádro na genetické algoritmy a jejich výpočet.

Získané výsledky (model) lze využít ke komerčnímu využití či implementaci do stávajících plánovacích systémů výrobních podniků. Velkou výhodou genetických algoritmů je fakt, že se mohou do procesu výpočtu hodnoty účelové funkce přidat další geny.

Omezení modelu

V disertační práci je popsán genetický algoritmus, který autor vytvořil pro výrobní podnik, který byl výše specifikován. Je důležité si uvědomit, že při konkrétní aplikaci by mělo vždy dojít k modifikaci genetického algoritmu podle specifik konkrétního výrobního podniku. Autor by se v budoucnu rád věnoval rozšíření algoritmu o další parametry, které vznikají v praktických podmínkách výrobních podniků:

- zákazník neodebere výrobky,
- objednávka na požadované množství není fixní,
- zastavení linky,
- výroba bez objednávky,
- paralelní a sériová výroba,
- paralelní distribuce.

Zákazník neodebere výrobky

Jedná se o případ, kdy zákazník neodebere veškeré množství z minulé objednávky a je tedy nutné toto množství zohlednit při plnění další objednávky.

Objednávka na požadované množství není fixní

- *Změna objednávky (ze strany zákazníka)* – jedná se o případ, kdy zákazník mění požadavky v době, kdy je již nelze měnit. Může se jednat o specifické situace jako například požár u zákazníka (pak nemá cenu daný výrobek pro zákazníka vyrábět a je nutno změnit výrobu).

- *Nemožnost výroby požadavků v daném termínu (ze strany výrobního podniku)* – jedná se o případ, kdy výrobce neplní své požadavky a je nutno přenastavit parametry pro výpočet (např. zvýšením počtu pracovních dní).

Zastavení linky

Jedná se o případ, kdy *je dostatečná výrobní kapacita* na výrobní lince. Model musí posoudit, zda je pro výrobní podnik výhodnější vyrobít na sklad (vzrostou skladovací náklady), či zastavit linku a vyrábět až na daný požadavek (kdy mohou růst náklady na přestavby).

Výroba bez objednávky

Jedná se o případ, kdy *není dostatečná výrobní kapacita* na výrobní lince v důsledku sezónního výkyvu. Model musí posoudit, zda je pro výrobní podnik výhodnější vyrobít předem na sklad (vzrostou skladovací náklady), nebo nesplnit objednávku (náklady za nedodání).

Paralelní a sériová výroba

Jedná se o rozšíření algoritmu (jeho genu) tak, aby pokryl rozšířené požadavky na výrobu:

- ***Pro sériovou výrobu*** je u výrobního podniku typické, že se její výrobní procesy skládají z více operací, které na sebe navazují. Z důvodu uspořádání výrobního prostoru nejsou tyto operace integrovány na jedné výrobní lince. Jedná se o více výrobních linek, které mají vlastní plány výroby. Při uvažování sériové výroby by model určil optimální variantu (jedince), kde by byly celkové relevantní výrobní a logistické náklady minimální.
- ***Pro paralelní výrobu*** je typické, že výrobní podnik vyrábí své výrobky na více výrobních linkách (každá může mít jiné parametry – rychlost, kvalita). Zde by model pracoval s dvěma geny zároveň a opět by hledal optimální variantu (jedince), kde by byly celkové relevantní výrobní a logistické náklady minimální.

Paralelní distribuce

Představuje možné rozšíření genetického algoritmu, kdy lze uvažovat více typů dopravních prostředků s cílem nalezení optimální distribuce výrobků. V tomto případě by rozšířený algoritmus (gen) o paralelní distribuci opět hledal optimální variantu (jedince), kde by celkové relevantní výrobní a logistické náklady byly minimální.

V budoucím výzkumu lze také uvažovat, že přeprava je outsourcována, a jedná se tedy o službu, která vyjadřuje náklady za přepravu výrobků. Cena je pak určena buď za kilometr či

na základě smluv na jednotlivé destinace. V tomto případě se neuvažuje s cestou zpět do výrobního podniku.

Z hlediska dalšího rozvoje by bylo vhodné se zaměřit na následující tři otázky:

- **Zrychlení algoritmu (*Jak zrychlit algoritmus?*)** - Další výzkum autora bude cílit na znalosti genetických operátorů (zejména operátorů křížení a mutací). Autor by rád upravil algoritmus tak, aby požadovaný výsledek byl dostupný za kratší časový interval.
- **Zpřesnění algoritmu (*Jak zpřesnit algoritmus?*)** - Autor by se rád věnoval studiu algoritmu tak, aby minimalizoval možnost zacyklení algoritmu, tak jak je v některých zdrojích uváděno, které by mohlo vést k nepřesnostem v určení nejlepšího jedince.
- **Další rozšíření algoritmu (*Jaké jsou další možnosti rozšíření algoritmu?*)** - Autor by rád cílil svůj výzkum na další rozšíření algoritmu (genu) zejména o reverzní logistiku, kde vidí další možné uplatnění modelu.

Za zmínku také stojí rozšíření o dodavatelské řetězce či případné prodejní procesy (průmyslový/spotřebitelský trh, zapojení mezičlánků do prodejních procesů).

Autor se zaměří ve svém budoucím výzkumu na snížení náročnosti hardwarového vybavení volbou jiných programovacích jazyků (Visual Basic, C), které výpočet provedou za výrazně kratší čas.

V neposlední řadě je nutné poznamenat, že kvalita výstupu daného algoritmu je vždy závislá na kvalitě vstupů. Za správnost a kvalitu těchto vstupů (proměnných) je vždy zodpovědný sám výrobní podnik.

6 VLASTNÍ PŘÍNOSY DOKTORANDA

Obsahem řešení disertační práce byla optimalizace celého hodnototvorného řetězce s cílem navržení modelu pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězce výrobního podniku s využitím genetických algoritmů. Disertační práce může být využita v oblasti vědeckého bádání, jako podklad pro další výzkum v dané problematice, i v praxi při konkrétní aplikaci modelu ve výrobních podnicích.

Teoretické přínosy disertační práce lze shrnout do následujících oblastí:

- zpracování analýzy v oblasti optimalizace výrobních a logistických procesů, která přispívá k poznání genetických algoritmů, jejich využitelnosti a aplikaci v různých odvětvích či typech výrobně-distribučních řetězců, včetně modifikace a implementace těchto algoritmů do výrobních procesů,
- užití procesních map v rámci návrhu změny výrobně-distribučních procesů,
- využití vlastního návrhu modelu pro minimalizaci nákladů pomocí užití genetického algoritmu,
- vytváření předpokladů pro další rozvoj při optimalizaci výrobně-distribučních řetězců v kontextu minimalizace nákladů pomocí užití genetických algoritmů,
- vytvoření základní báze užití genetických algoritmů pro následné zapojení dalších procesů.

Praktické přínosy disertační práce lze shrnout do následujících oblastí:

- vytvoření modelu pro výrobní podniky na minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů,
- využití algoritmu jako výchozího podkladu pro aplikaci do firemních informačních systémů,
- zmapování vazeb mezi celkovými relevantními výrobními a logistickými náklady.

7 ZÁVĚR

Tato disertační práce si stanovila jako cíl návrh modelu pro minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku s využitím genetických algoritmů. V průběhu vědeckého výzkumu autor dospěl k názoru, že nejvhodnějším nástrojem pro tento cíl jsou heuristické metody, a to zejména genetické algoritmy. Bylo proto potřeba aplikovat genetické algoritmy na vybraný model pomocí procesních map, navrhnout kódování problému, dále navrhnout funkční genetické operátory a další parametry daného modelu. Genetické operátory a jejich kódování mají zásadní význam pro úspěšnou aplikaci genetického algoritmu, proto bylo nutné je přizpůsobit povaze modelu.

První kapitola je věnovaná problematice hodnototvorného procesu. Je zde popsán výrobní proces, jeho řízení a nástroje na řízení výrobního procesu. Dále jsou zde popsány logistické náklady spojené s distribučním procesem. Za zajímavé zjištění považuje autor fakt, že v zahraničí je optimalizaci výrobních procesů a distribuce pomocí heuristických metod věnován významný prostor.

V kapitole vlastního řešení byly nejdůležitějšími a nejsložitějšími etapami návrh a vytvoření algoritmu a také volba vhodného zakódování jedinců. Jedinec (výrobně-distribuční plán) musel nést potřebnou informaci tak, aby s ní algoritmus dokázal lehce pracovat. Zejména se to týkalo situace, kdy se jedinci v generaci náhodně křížili a mutovali.

Bylo tedy zvoleno unikátní zakódování pomocí tří pozic (typ výrobku, označení zákazníka a číslo dopravního prostředku), které ideálně vyhovuje danému požadavku dle objednávky zákazníka. Na základě hodnoty účelové funkce se generuje nejlepší jedinec v každé generaci, což je důležité pro následné grafické zobrazení úlohy.

Po návrhu algoritmu a jeho operátorů byla autorem vytvořena a odzkoušena aplikace pro testování. Aplikace byla vyvinuta v programu Matlab. V této aplikaci proběhla všechna testování uvedená v předložené disertační práci. Funkčnost algoritmu byla ověřena v praxi na objednávkách výrobního podniku Ardagh Group.

Po úpravě na daný typ problému lze algoritmus použít ke komerčnímu využití, případně lze implementovat do stávajících plánovacích systémů výrobních podniků.

Z hlediska vyhodnocení dílčích cílů práce lze konstatovat následující dosažené výsledky řešení:

1. *Návrh konkrétního algoritmu a sestavení výpočtového modelu pro snížení celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku* – byl sestaven konkrétní algoritmus, který snižuje celkové relevantní výrobní a logistické náklady na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku. Model byl sestaven pomocí aparátu genetických algoritmů, kde účelová funkce představuje celkové relevantní výrobní a logistické náklady na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku.
2. *Ověření funkčnosti navrženého modelu pomocí simulačního programu Matlab* - funkčnost navrženého algoritmu byla ověřena pomocí simulačního programu Matlab, jeho vhodnost se potvrdila tím, že přinesl úspory celkových nákladů oproti stávajícímu stavu.
3. *Komparace navrženého řešení se stávajícím stavem na konkrétní výrobní podnik* - navržené řešení přináší lepší výsledky než při stávajícím stavu; na konkrétním případu výrobního podniku bylo dosaženo úspory 2, 73 % nákladů.

Díky naplnění dílčích cílů došlo i ke splnění hlavního cíle disertační práce, tj. k návrhu vhodného modelu použitelného v praxi k minimalizaci celkových relevantních výrobních a logistických nákladů na výrobně-distribuční řetězec výrobního podniku s využitím genetických algoritmů. Díky tomu bylo dosaženo výše uvedené úspory. Lze tedy konstatovat, že navržený cíl a dílčí cíle byly v rámci disertační práce naplněny v plném rozsahu.

8 POUŽITÁ LITERATURA

ABDENNADHER, S. a M. MARTE, 2000. University timetabling using constraint handling rules. *Journal of Applied Artificial Intelligence*[online]. Issue 14, s. 311-325. [cit. 2014-08-06]. ISBN 10.1007/978-3-642-59115-0-7. Dostupné z:

<https://lists.gnu.org/archive/html/users-prolog/2002-01/pdfcmmucz3710.pdf>

ANTONY, J., M. KUMAR, A. LABIB a A. TÖPFER, 2007. Gearing Six Sigma into UK manufacturing SMEs: results from a pilot study. *Journal of the Operational Research Society* [online]. Vol. 59, issue 4, s. 1-19 [cit. 2014-08-07]. Dostupné z: <http://www.palgrave-journals.com/jors/journal/v59/n4/full/2602437a.html>

BACK, T., 1996. *Evolutionary algorithms in theory and practice: evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*. New York: Oxford University Press. 314 s. ISBN 0-19-509971-0.

BASL, J., M. TŮMA a V. GLASL, 2002. *Modelování a optimalizace podnikových procesů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita. 140 s. ISBN 80-708-2936-2.

BAŤA, T., 2013. *Úvahy a projevy: mé začátky*. Praha: Omega (Dobrovský). 319 s. ISBN 978-80-7390-019-9.

BAUER, M. a I. HABURAIOVÁ, 2015. *Leadership s využitím kaizen a lean: pohádky pro unavené manažery*. 1. vyd. Brno: BizBooks. 134 s. ISBN 978-80-265-0390-3.

BIELLI, M., M. CARAMIA a P. CAROTENUTO, 2002. Genetic algorithms in bus network optimization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* [online]. Vol. 10, issue 1, s. 19-34 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X00000486>

BLAUWENS, G., P. DE DAERE a E. VAN DE VOORDE, 2008. *Transport Economics*. Antwerpen: Uitgeverij De Doeck nv. ISBN 978-90-455-2704.

BLUMENFELD, D. E., L. D. BURNS a C. F. DAGANZO, 1991. Synchronizing production and transportation schedules. *Transportation Research Part B: Methodological* [online]. Vol. 25, issue 1, s. 23-37 [cit. 2015-04-12]. DOI: 10.1016/0191-2615(91)90011-7. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0191261591900117>

- BLUMENFELD, D. E., L. D. BURNS, C. F. DAGANZO, M. C. FRICK a R. W. HALL, 1987. Reducing logistics costs at general motors. *Interfaces* [online]. Vol. 17, issue 1, s. 26-47 [cit. 2015-04-13]. DOI: 10.1287/inte.17.1.26. Dostupné z: <http://pubsonline.informs.org/toc/inte/17/1>
- BRUE, G., 2006. *Six sigma for small business*. Irvine, Calif.: Entrepreneur Press. 208 p. ISBN 19-325-3155-6.
- BRUSSEE, W., 2010. *Six Sigma on a budget: achieving more with less using the principles of Six Sigma*. New York: McGraw-Hill. 183 s. ISBN 00-717-3675-1.
- BULUT, A., M. STEVENSON a L. C. HENDRY, 2015. The applicability and impact of Enterprise Resource Planning (ERP) systems: Results from a mixed method study on Make-To-Order (MTO) companies. *Computers in Industry* [online]. [cit. 2015-04-14]. DOI: 10.1016/j.compind.2014.10.003. ISSN 01663615. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016636151400181X>.
- CEMPÍREK, V., R. KAMPF, J. ŠIROKÝ a M. SLIVONĚ, 2009. *Logistické a přepravní technologie*. 1. vyd. Pardubice: Institut Jana Pernera. 197 s. ISBN 978-80-86530-57-4.
- DARWIN, Ch., c2006. *On the origin of species: by means of natural selection*. Sixth edition. Irvine, Calif.: Entrepreneur Press. 901 s. ISBN 9781775415374-.
- DAVIS, L., 1987. *Genetic algorithms and simulated annealing*. Los Altos, Calif.: Morgan Kaufmann Publishers. 216 s. ISBN 09-346-1344-3.
- DIJK, J. N., M. J. JOBING, J. R. WARREN, D. SEELEY a R. MACRI, 1996. Visual interactive modelling with SimView for organizational improvement. *SIMULATION* [online]. Vol. 8, s. 106-120. [cit. 2015-04-12]. DOI: 10.1177/003754979606700205. ISSN 0037-5497. Dostupné z: <http://sim.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/003754979606700205>.
- DISMAN, M., 2011. *Jak se vyrábí sociologická znalost: příručka pro uživatele*. 4. vyd. Praha: Karolinum. 372 s. ISBN 978-80-246-1966-8.
- DRAHOTSKÝ, I. a B. ŘEZNÍČEK, 2003. *Logistika: procesy a jejich řízení*. 1. vyd. Brno: Computer Press. 2003. 334 s. ISBN 80-722-6521-0.
- FIALA, A., 2006. *Management jakosti s podporou norem ISO 9000:2000: (1 dílo ve 4 svazcích)*. Praha: Verlag Dashöfer. ISBN 80-862-2919-X.

- GEORGE, M. L., 2003. *Lean Six Sigma for service: how to use Lean Speed and Six Sigma Quality to improve services and transactions*. New York: McGraw-Hill. 386 s. ISBN 00-714-1821-0.
- GEORGE, M. L., c2004. *Co je Lean Six Sigma?* 1. vyd. Brno: SC. 94 s. ISBN 80-239-5172-6.
- GEORGE, M. L., c2005. *The lean six sigma pocket toolbox: a quick reference guide to nearly 100 tools for improving process quality, speed, and complexity*. New York: McGraw-Hill. 282 s. ISBN 0-07-144119-0.
- GLOVER, F. a M. LAGUNA, 1999. New advances for wedding optimization and simulation. *WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings. 'Simulation - A Bridge to the Future* [online]. (Cat. No.99CH37038). [cit. 2015-04-12]. DOI: 10.1163/1574-9347_bnp_e515990. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=324138>
- GLOVER, F., G. JONES, D. KARNEY, D. KLINGMAN, J. MOTE, E. K. BOUKAS a Z. K. LIU, 1979. An Integrated Production, Distribution, and Inventory Planning System: Production Quality. *Interfaces* [online]. Vol. 9, issue 5, s. 185-229 [cit. 2015-03-12]. DOI: 10.1007/978-1-4615-1635-4_10. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.418.886>
- GOH, T. N., 2013. Future-Proofing Six Sigma. *Quality and Reliability Engineering International* [online]. Vol. 30, issue 8, s. 1389-1392 [cit. 2015-03-13]. DOI: 10.1002/978-3-540-74212-8. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qre.1561/abstract>
- GOLDBERG, D. E., c1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization*. Reading Mass.: Addison-Wesley Pub. Co. 412 s. ISBN 02-011-5767-5.
- GOLDSBY, T. J. a R. MARTICHENKO, 2005. *Lean Six Sigma logistics*. Boca Raton, FL: J. Ross Pub. 282 s. ISBN 1-932159-36-3.
- GHOSH, S. a J. MAITI, 2012. Data mining driven DMAIC framework for improving foundry quality – a case study. *Production Planning* [online]. Vol. 25, issue 6, s. 478-493 [cit. 2015-04-21]. DOI: 10.1080/09537287.2012.709642. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537287.2012.709642>
- GRULICH, M., 2008. *Plánování výroby v podmínkách neurčitosti*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automatizace a informatiky.

HAN, G., M. DONG, S. LIU, X. GU a L. TAO, 2014. Yield and allocation management in a continuous make-to-stock system with demand upgrade substitution. *International Journal of Production Economics* [online]. s. 124-131 [cit. 2015-04-15]. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.05.013. ISSN 09255273. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527314001765>.

HERAKOVIC, N., P. METLIKOVIC a M. DEBEVEC, 2014. Motivational lean game to support decision between push and pull production strategy. *International Journal of Simulation Modelling* [online]. Vol. 13, issue 4, s. 433-446 [cit. 2015-04-16]. DOI: 10.2507/ijimm13(4)4.275. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/275968458_Motivational_Lean_Game_to_Support_Decision_between_Push_and_Pull_Production_Strategy

HO, W. a P. JI, c2007. *Optimal production planning for PCB assembly*. London: Springer. 121 s. Springer series in advanced manufacturing. ISBN 978-184-6285-004.

Holland J. H., c1992. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. Cambridge: Bradford Book. 211 s. ISBN 02-625-8111-6.

HROMKOVÁ, L. a Z. TUČKOVÁ, 2005. *Teorie průmyslových podnikatelských systémů I.: studijní pomůcka pro distanční studium*. 2. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 112 s. C.H. Beck pro praxi. ISBN 80-731-8270-X.

HYNEK, J., 2008. *Genetické algoritmy a genetické programování: by means of natural selection*. 1. vyd. Praha: Grada. 182 s. ISBN 978-80-247-2695-3.

HUSEJNAGIĆ, D. a A. SLUGA, 2015. A conceptual framework for a ubiquitous autonomous work system in the Engineer-To-Order environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 78(9-12): 1971-1988 [cit. 2015-05-21]. DOI: 10.1007/s00170-015-6798-7. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-015-6798-7>.

CHANDRA, P. a M. L. FISHER, 1994. Coordination of production and distribution planning. *European Journal of Operational Research* [online]. Vol. 72, issue 3, s. 503-517 [cit. 2015-05-12]. DOI: 10.1016/0377-2217(94)90419-7. Dostupné z: <http://www.decisioncraft.com>

IMAI, M., 2004. *Kaizen: metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. 1.vyd. Brno: Computer Press. 272 s. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0461-3.

- IMAI, M., 2005. *Gemba Kaizen*. 1. vyd. Brno: Computer Press. 314 s. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.
- ISHIKAWA, K., 1990. *Introduction to quality control*. 2., print. Tokyo: 3A Corp. ISBN 49-062-2461-X.
- RENSBURG, A. C., 2012. Architectural concepts for value chain. *The South African Journal of Industrial Engineering* [online]. **19**(2). [cit. 2015-05-01]. DOI: 10.7166/19-2-88. ISSN 2224-7890. Dostupné z: <http://sajie.journals.ac.za/pub/article/view/88>.
- JANÍČEK, P., 2007. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-554-9.
- JIN, Mingzhou, Yi LUO a Sandra D. EKSIÖGLU, 2008. Integration of production sequencing and outbound logistics in the automotive industry. *International Journal of Production Economics* [online]. Vol. 113, issue 2, s. 766-774 [cit. 2015-04-02]. DOI: 10.1016/j.ijpe.2007.11.003. Dostupné z: http://econpapers.repec.org/article/eeeproeco/v_3a113_3ay_3a2008_3ai_3a2_3ap_3a766-774.htm
- JUROVÁ, M., 2013. *Výrobní procesy řízené logistikou*. 1. vyd. Brno: BizBooks. 260 s. ISBN 978-80-265-0059-9.
- KAPLAN, R. S. a D. P. NORTON, 2005. *Balanced scorecard: strategický systém měření výkonnosti podniku*. 4. vyd. Praha: Management Press. 267 s. ISBN 80-726-1124-0.
- KAVAN, M. a V. VÁVROVÁ, 2002. *Výrobní a provozní management: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. vyd. Praha: Grada. 424 s. ISBN 80-247-0199-5.
- KIM, Y. K., K. PARK, J. KO, S.H. CHUNG a F.T.S. CHAN, 2003. A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling. *Computers* [online]. Vol. 30, issue 8, s. 37-50 [cit. 2015-04-20]. DOI: 10.1002/9781118161883.ch3. Dostupné z: http://www.iaeng.org/publication/WCE2012/WCE2012_pp1433-1437.pdf
- KESKIN, B. B., İ. ÇAPAR, Ch. R. SOX a N. K. FREEMAN, 2014. An Integrated Load-Planning Algorithm for Outbound Logistics at Webb Wheel. *Interfaces* [online]. Vol. 44, issue 5, s. 480-497 [cit. 2015-03-02]. DOI: 10.1287/inte.2014.0760. Dostupné z: <http://bkeskin.people.ua.edu/uploads/2/9/4/0/29406145/bbk-cv-05-07-2014.pdf>
- KOSOVÁ, M., 2012. *Řízení zásob ve společnosti Seco GROUP, a.s.* Pardubice. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko- správní. Ústav ekonomiky a managementu.

- KOZA, J. R., 1992. *Genetic Programming*. MIT Press, Cambridge, MA.
- KUCHARČÍKOVÁ, A., 2011. *Efektivní výroba: využijte výrobní faktory a připravte se na změny na trzích*. 1. vyd. Brno: Computer Press. 344 s. ISBN 978-80-251-2524-3.
- KYNCL, F., 2008. *Outcoursing dopravně – logistických procesů*. Pardubice. Disertační práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera.
- KRÁL, B., 2002. *Manažerské účetnictví*. 1. vyd. Praha: Management Press. 547 s. ISBN 80-726-1062-7.
- KVASNIČKA, V., 2000. *Evolučné algoritmy*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU. 215 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-1377-5.
- LAMBERT, D. M. a L. M. ELLRAM, 2000. *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. 1. vyd. Computer Press. 589 s. Business books (Computer Press). ISBN 80-722-6221-1.
- LEE, E., R. GROOMS, S. MAMIDALA, P. NAGY, S. TAGHIZADEGAN, J. JESSENBERGER, T. WAURICK a T. WAURICK, 2014. Six Easy Steps on How to Create a Lean Sigma Value Stream Map for a Multidisciplinary Clinical Operation: Ihr Nutzen von Lean Six Sigma. *Journal of the American College of Radiology* [online]. Vol. 11, issue 12, s. 219-265 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: [http://www.jacr.org/article/S1546-1440\(14\)00509-2/abstract](http://www.jacr.org/article/S1546-1440(14)00509-2/abstract)
- LIKER, J. K., 2007. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce*. 1. vyd. Praha: Management Press. 390 s. Knihovna světového managementu. ISBN 978-80-7261-173-7.
- LUKŠŮ, V., 2001. *Logistika I*. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická. Fakulta managementu. 269 s. ISBN 80-245-0166-X.
- MAKOVEC, J. a V. VÁVROVÁ (1993). *Organizace a plánování výroby: určeno pro stud. podnikohospod. fak.* 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická. 274 s. Expert (Grada). ISBN 80-707-9171-3.
- MAŘÍK, V., 2001. *Umělá inteligence: by means of natural selection*. 1. vyd. Praha: Academia. 328 s. ISBN 80-200-0472-6.
- MAZÁNEK, K., 2009. *Optimalizace logistických procesů ve skladovém hospodářství společnosti OPOP, s.r.o.* Zlín. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta managementu a ekonomiky.

- MICHALEWICZ, Z., c1996. *Genetic algorithms data structures = evolution programs*. 3rd. rev. and extended ed. Berlin: Springer. 387 s. ISBN 35-406-0676-9.
- MOCKOVÁ, D., 2013. *Posouzení kvality návrhu řešení lokačních úloh genetickými algoritmy*. Praha. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta dopravní. Ústav logistiky a managementu dopravy.
- NEWALL, J. P., 1999. Hybrid Methods for Automated Timetabling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* [online]. Wien: Geistingers Verlagshandlung [cit. 2015-05-01]. ISSN 1089778x. Dostupné z:
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=752921>
- ORAVA, F., 2010. *Vývoj a navrhování logistických systémů*. Olomouc: Moravská vysoká škola Olomouc. 73 s. ISBN 978-80-87240-39-7.
- PERNICA, P., 1994. *Logistika - vymezení a teoretické základy*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická. 210 s. ISBN 80-707-9820-3.
- POPESKO, B., 2009. *Moderní metody řízení nákladů: jak dosáhnout efektivního vynakládání nákladů a jejich snížení*. 1. vyd. Praha: Grada. 233 s. ISBN 978-80-247-2974-9.
- RAJPUT, R. K., 2008. *A textbook of manufacturing technology: (manufacturing processes)*. New Delhi: Laxmi. ISBN 81-318-0244-2.
- REEVES, C. R., c1993. *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. New York: Halsted Press. 320 s. ISBN 04-702-2079-1.
- RIES, E., 2015. *Lean startup: jak budovat úspěšný byznys na základě neustálé inovace*. 1. vyd. Brno: BizBooks. 279 s. ISBN 978-80-265-0389-7.
- ROBBINS, S. P. a M. K. COULTER, c2005. *Management*. 8th ed. Upper Saddle River. NJ: Pearson Prentice Hall. 608 p. ISBN 01-314-3994-4.
- ŘEPA, V., 2012. *Procesně řízená organizace*. 1. vyd. Praha: Grada. 301 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4128-4.
- SCHAERF, A., 1996. A survey of automated timetabling. *Technical Report CS-R9567* [online]. Amsterdam [cit. 2015-04-12]. Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI).
- SIXTA, J. a V. MAČÁT, 2005. *Logistika: teorie a praxe*. 1. vyd. Brno: CP Books. 315 s. ISBN 80-251-0573-3.

- SIXTA, J. a M. ŽIŽKA, 2009. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. 1. vyd. Brno: Computer Press. 238 s. ISBN 978-80-251-2563-2.
- STEHLÍK, A. a J. KAPOUN, 2008. *Logistika pro manažery*. 1. vyd. Praha: Ekopress. 266 s. ISBN 978-80-86929-37-8.
- SYNEK, M., 2007. *Manažerská ekonomika*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1992-4.
- SYNEK, M. a E. KISLINGEROVÁ., 2010. *Podniková ekonomika*. 5., přeprac. a dopl. vyd. Praha: C.H. Beck. 445 s. ISBN 978-80-7400-336-3.
- SVOBODA, V., 2006. *Doprava jako součást logistických systémů*. 1. vyd. Praha: Radix. 148 s. ISBN 80-860-3168-3.
- ŠMÍDA, F., 2007. *Zavádění a rozvoj procesního řízení ve firmě*. 1. vyd. Praha: Grada. 293 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-1679-4.
- ŠTŮSEK, J., 2005. *Logistický management*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, Katedra řízení, 237 s. ISBN 80-213-1259-9.
- ŠTŮSEK, J., 2007. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. 1. vyd. V Praze: C.H. Beck. 227 s. ISBN 978-80-7179-534-6.
- TASNÁDI, A., 2011. Production in advance versus production to order. *Journal of Economic Behavior* [online]. Elsevier Science S.A. Vol. 54, issue 2. s. 191-204 [cit. 2015-04-22]. DOI: 10.1016/j.jebo.2003.04.005. ISSN 0167-2681. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167268103002221>
- TICHÁ, I. a J. HRON, 2002. *Strategické řízení*. 1. vyd. Praha: Credit. 235 s. ISBN 80-213-0922-9.
- TILKERIDIS, D., 2013. *Aplikace moderních logistických systémů v automobilovém průmyslu*. Pardubice. Disertační práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera.
- TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ, 1999. *Řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. vyd. Praha: Grada. 439 s. Expert (Grada). ISBN 80-716-9578-5.
- TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ, 2000. *Řízení výroby*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha: Grada. 408 s. Expert (Grada). ISBN 80-716-9955-1.
- TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ, 2014. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. 1. vyd. Praha: Grada. 366 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.

- TVRDÍK, J., 2006. Evoluční algoritmy. In: *ROBUST 2006*: sborník z konference, Praha: JČMF. s. 329-349. ISBN 80-7015-073-4.
- TUČEK, D., M. HRABAL a L. TRČKA, 2014. *Procesní řízení v praxi podniků a vysokých škol*. 1. vyd. Praha: Wolters Kluwer. 270 s. ISBN 978-807-4786-747.
- VÁCHAL, J. a M. VOCHOZKA, 2013. *Podnikové řízení*. 1. vyd. Praha: Grada. 685 s. Finanční řízení. ISBN 978-80-247-4642-5.
- VEBER, J., 2007. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Grada. 201 s. Manažer. ISBN 978-80-247-1782-1.
- VLČEK, R., 2002. *Hodnota pro zákazníka*. 1. vyd. Praha: Management Press. 443 s. ISBN 8072610686.
- VOLEK, J., 2002. *Operační výzkum I*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice. 111 s. ISBN 80-719-4410-6.
- YU, Ch., Y. JI, G. QI, X. GU a L. TAO, 2015. Group-based production scheduling for make-to-order production. *Journal of Intelligent Manufacturing* [online]. 26(3): 585-600 [cit. 2015-04-11]. DOI: 10.1007/s10845-013-0817-z. ISSN 0956-5515. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10845-013-0817-z>.
- ZELENÝ, M., 2007. *Neučte se z vlastních chyb--: pohlednice z druhého břehu*. Praha: Ottovo nakladatelství. 368 s., [8] s. obr. příl. ISBN 978-80-7360-636-7.
- ZHANG, Y. L., G. Y. XIE aj. CHEN, 2013. A Review on some Significant Methods in Operations Management: quantitative methods. *Applied Mechanics and Materials* [online]. s. 371 - 404. [cit. 2015-04-12]. DOI: 10.1016/b978-0-7506-4995-7.50014-4. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.278-280.2137>.

9 PUBLIKAČNÍ ČINNOST DOKTORANDA SOUVISEJÍCÍ S TÉMATEM DISERTAČNÍ PRÁCE

1. BAKEŠOVÁ, B., J. ČÁP, L. TICHÝ a V. MELICHAR, 2012. Plechovka jako obalový materiál v rámci supply chain management. In: *Horizons of Railway Transport 2012*. Žilina: EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity. s. 112-116. ISBN 978-80-554-0571-1.
2. BAKEŠOVÁ, B., J. ČÁP a L. TICHÝ, 2012. Lean production as an element of process management. In: *Horizons of Railway Transport 2012*. Žilina: EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity. s. 265-269. ISSN 1338-287X.
3. TICHÝ, L. a K. STEIGEROVÁ, 2013. Synchronizace výroby a dodávek s využitím CRM. In: *LOGI 2013 - Conference Proceeding*. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická v Č. Budějovicích. s. 393-399. ISBN 978-80-7468-059-5.
4. TICHÝ, L. a K. STEIGEROVÁ, 2013. Využití metody Lean Six Sigma v praxi. In: *LOGI 2013 - Conference Proceeding*. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích. s. 58-63. ISBN 978-80-7468-059-5.
5. BAKEŠOVÁ, B., J. ČÁP, L. TICHÝ a V. MELICHAR, 2012. Štíhlá výroba jako prvek procesního řízení. In: *Horizons of Railway Transport 2012*. Žilina: EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity. s. 98-103. ISBN 978-80-554-0571-1.
6. BAKEŠOVÁ, B., J. ČÁP a L. TICHÝ, 2012. The tin can as packaging material in terms of supply chain management. In: *Horizons of Railway Transport 2012*. Žilina: EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity. s. 365-368. ISSN 1338-287X.
7. STEIGEROVÁ, K. a L. TICHÝ, 2014. Sdílení informací při přesunu výrobních linek jako základ udržení konkurenceschopnosti. In: *IMEA 2014*. – 14. mezinárodní konference. Liberec: IMEA – Technická univerzita v Liberci. s. 87-93. ISBN 978-80-7494-106-1.
8. TICHÝ, L., J. ČÁP a V. MELICHAR (2015). Využití metody Lean Six Sigma v praxi. *Perner's Contacts*. Pardubice: Univerzita Pardubice. s. 179-185. ISSN 1801-674X.
9. TICHÝ, L., J. ČÁP a V. MELICHAR, 2014. Optimalizace výrobního procesu v kontextu k bezpečnosti práce. In: *Horizons of Railway Transport 2014*. Žilina: EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity. s. 314-319. ISBN 978-80-554-0918-4.
10. TICHÝ, L., J. ČÁP a V. MELICHAR, 2014. Role distribuční logistiky ve výrobních firmách. In: *Horizons of Railway Transport 2014*. Žilina: EDIS - vydavatelství Žilinskej univerzity. s. 320-324. ISBN 978-80-554-0918-4.

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – parametry optimalizačního problému	97
Příloha B Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení parametrů objednávky	98
Příloha C Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení nákladů spojených s přestavbou	99
Příloha D Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení skladovacích nákladů.....	100
Příloha E Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení distribučních nákladů.....	101
Příloha F Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – inicializace první generace.....	102
Příloha G Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – výpočet fitness funkce.....	103
Příloha H Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – křížení	104

Příloha A Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – parametry optimalizačního problému

```
function varargout = Parametry_GA(varargin)% PARAMETRY_GA MATLAB code for Parametry_GA.fig% PARAMETRY_GA, by itself, creates :
dit the above text to modify the response to help Parametry_GA% Last Modified by GUIDE v2.5 09-Mar-2015 19:53:59% Begin initialization
version of MATLAB% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)% varargin command line arguments to Parametry_GA
1000;%maximalni pocet generacihandles.minB0 = 10;%minimalni pocet generaci bez zlepšení nejlepšího jedincehandles.maxB0 = 100;%
andle to sl_populace (see GCBO)% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB% handles structure with hand
e GCBO)% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB% handles structure with handles and user data (see GU
erved - to be defined in a future version of MATLAB% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)% Hints: get(hob
a future version of MATLAB% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)% Hints: get(hObject,'String') returns coi
AB% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider%
with handles and user data (see GUIDATA)% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit_mutovano as text% str2double
(see GUIDATA)% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider% get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determini
bject,'String') returns contents of edit_krizeno as text% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit_krizeno
rns position of slider% get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of sliderset(handles.edit_generaceMax,
nts of edit_generaceMax as text% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit_generaceMax as a double% --- Exe
t(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of sliderset(handles.edit_B0, 'String', round(get(hObject,'Value')));tes
nts of edit_B0 as a double% --- Executes during object creation, after setting all properties.function edit_B0_CreateFcn(hObject,
ter setting all properties.function edit_iterace_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)% hObject handle to edit_iterace (see GCBO
inec_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)% hObject handle to edit_nejJedinec (see GCBO)% eventdata reserved - to be defined i
a, handles)% hObject handle to edit_fitnessworst (see GCBO)% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB%
edit_fitnessBest (see GCBO)% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB% handles empty - handles not crea
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called% Hint: edit controls usually have a white background on
d% Hint: edit controls usually have a white background on windows.% See ISPC and COMPUTER.if ispc && isequal(get(hObject,'Bac
t);set(handles.sl_mutovano, 'Max', handles.maxMut);set(handles.sl_mutovano, 'SliderStep', [1/(handles.maxMut - handles.minMut) , 1(
s.sl_B0, 'Max', handles.maxB0);set(handles.sl_B0, 'SliderStep', [1/(handles.maxB0 - handles.minB0) , 10/(handles.maxB0 - handles.mi
double(get(handles.edit_krizeno, 'String')));set(handles.edit_elita, 'String', elita);if (elita < 1) set(handles.edit_elita, 'Bac
t(handles.edit_B0, 'String')>str2double(get(handles.edit_generaceMax, 'String')) errorDlg('Počet generací je menší než maximá
ka, handles.vyroba, handles.sklad, handles.doprava, handles.kapacitaLinky, handles.kapacitaAuta, handles);guidata(hObject, handles);
% --- Executes during object creation, after setting all properties.function edit_stav_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)% hob
)% hObject handle to system (see GCBO)% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB% handles structure
); set(handles.sl_krizeno, 'value', handles2_handles.k); set(handles.edit_krizeno, 'String', handles2_handles.k); set(handk
ouble(get(handles.edit_vyrazeno, 'String')); handles.M = str2double(get(handles.edit_mutovano, 'String')); handles.k = str2d
e(get(hObject,'String')) returns contents of edit_time as a double% --- Executes during object creation, after setting all properti
..');else set(handles.pb_stop, 'Enable', 'on'); set(handles.edit_stav, 'String', [
'; Počítám...');endpause(0.01
```

Zdroj: Autor

Příloha B Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení parametrů objednávky

```
function Objednavka(varargin)
% function Objednavka(handles, object, pocetZakazniku, pocetTypuvyrobu)
% nebo
% function Objednavka(handles, object, dataObjednavky)
% handles ... handles od gui, které tuto funkci vola
% object ... object, který funkci vola

switch nargin % bud uz máme nějakou objednávku (3 vstupy) nebo ne (4 vstupy)
    case 3
        [pocetZakazniku, pocetTypuvyrobu] = size(varargin{3});
        dataObjednavky = varargin{3};
    case 4
        pocetZakazniku = varargin{3};
        pocetTypuvyrobu = varargin{4};
end
handles = varargin{1};
object = varargin{2};

% vytvoreni tabulky k nastaveni objednávky
sirka = (pocetTypuvyrobu+1) * 100 + 25; %sirka okna
vyska = (pocetZakazniku+1.4) * 18;
scrsz = get(0, 'screenSize');
f = figure('Position',[scrsz(3)/5, scrsz(4)-vyska-200, sirka, vyska + 100], 'MenuBar', 'none', 'CloseRequestFcn',
for k = 1:1:pocetZakazniku
    str = sprintf('Zakaznik %2u', k);
    radky{k} = str;
end
for k = 1:1:pocetTypuvyrobu
    str = sprintf('Typ výrobku %3u', k);
    sloupce{k} = str;
    columnEditable(k) = true;
    columnFormat{k} = 'numeric';
end
data = cell(pocetZakazniku, pocetTypuvyrobu);
for ind1 = 1:1:pocetZakazniku,
    for ind2 = 1:1:pocetTypuvyrobu,
        if (nargin == 4)
            data{ind1, ind2} = 0;
        else
            data{ind1, ind2} = dataObjednavky(ind1, ind2);
        end
    end
end

tab_data = uitable('Parent',f,'ColumnName',sloupce,'RowName',radky,'Columnwidth',{100}, 'columnEditable', columned
pb_ok = uicontrol('style','pushbutton','String','OK','Position',[20 20 80 30], 'callback', {@pb_ok_callback, h

function pb_ok_callback(hObject, event, handles, object)
par = get(hObject, 'Parent'); % handle na rodice
chil = get(par, 'Children'); % handle na vsechny deti rodice
data = get(chil(2), 'data'); % zisk dat z tabulky
data = cell2mat(data); % prevod dat na pole
[ra, sl] = size(data);
for ind1 = 1:1:ra
    for ind2 = 1:1:sl
        if (isnan(data(ind1, ind2)) || data(ind1, ind2) < 0 || rem(data(ind1, ind2),1) ~= 0)
            errordlg('Některá z hodnot ve špatném formátu!', 'Chyba zadání');
            return;
        end
    end
end
end
```

Zdroj: Autor

Příloha C Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení nákladů spojených s přestavbou

```
function vyrobníNaklady(varargin)
% function vyrobníNaklady(handles, object, pocetTypuVyroбку)
% nebo
% function vyrobníNaklady(handles, object, datavyrobníNaklady)
% handles ... handles od gui, které tuto funkci vola
% object ... object, který funkci vola

if (isscalar(varargin{3}) && varargin{3} > 0) % jeste nejsou znamy zadne predchozi naklady
    pocetTypuVyroбку = varargin{3};
else % uz máme predchozi data
    datavyrobníNaklady = varargin{3};
    pocetTypuVyroбку = length(datavyrobníNaklady);
end
handles = varargin{1};
object = varargin{2};

%vytvoreni tabulky k nastaveni objednávky
sirka = (pocetTypuVyroбку+1) * 40 + 75; %sirka okna
vyska = (pocetTypuVyroбку+1.4) * 18;
scrsz = get(0, 'ScreenSize');
f = figure('Position', [scrsz(3)/5, scrsz(4)-vyska-200, sirka, vyska + 100], 'MenuBar', 'none', 'CloseRequestFcn'
for k = 1:1:pocetTypuVyroбку
    str = sprintf('Výrobek %2u', k);
    radky{k} = str;
end
for k = 1:1:pocetTypuVyroбку
    str = sprintf('%3u', k);
    sloupce{k} = str;
    columnEditable(k) = true;
    columnFormat{k} = 'bank';
end
data = cell(pocetTypuVyroбку, pocetTypuVyroбку);
for ind1 = 1:1:pocetTypuVyroбку,
    for ind2 = 1:1:pocetTypuVyroбку,
        if (isscalar(varargin{3}) && varargin{3} > 0)
            data{ind1, ind2} = 0;
        else
            data{ind1, ind2} = datavyrobníNaklady(ind1, ind2);
        end
    end
end
end

tab_data = uitable('Parent', f, 'ColumnName', sloupce, 'RowName', radky, 'Columnwidth', {40}, 'columnEditable', column
pb_ok = uicontrol('style', 'pushbutton', 'String', 'OK', 'Position', [20 20 80 30], 'callback', {@pb_ok_callback,

function pb_ok_callback(hObject, event, handles, object)
par = get(hObject, 'Parent'); % handle na rodice
chil = get(par, 'Children'); % handle na vsechny deti rodice
data = get(chil(2), 'data'); % zisk dat z tabulky
data = cell2mat(data); % prevod dat na pole
[ra, sl] = size(data);
for ind1 = 1:1:ra
    for ind2 = 1:1:sl
        if (isnan(data(ind1, ind2)) || data(ind1, ind2) < 0)
            errordlg('Některá z hodnot ve špatném formátu!', 'chyba zadání');
            return;
        end
        if (ind1 == ind2 && data(ind1, ind2) ~= 0)
            errordlg('Diagonální hodnoty musí být nulové!', 'chyba zadání');
            return;
        end
    end
end
```

Zdroj: Autor

Příloha D Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení skladovacích nákladů

```
function skladovaciNaklady(varargin)
% function skladovaciNaklady(handles, object, pocetTypuvyrobu)
% nebo
% function skladovaciNaklady(handles, object, dataSkladovaciNaklady)
% handles ... handles od gui, které tuto funkci vola
% object ... object, který funkci vola

if (isscalar(varargin{3}) && varargin{3} > 0) % jeste nejsou znamy zadne predchozi naklady
    pocetTypuvyrobu = varargin{3};
else % uz máme predchozi data
    dataSkladovaciNaklady = varargin{3};
    pocetTypuvyrobu = length(dataSkladovaciNaklady);
end
handles = varargin{1};
object = varargin{2};

%vytvoreni tabulky k nastaveni objednavky
sirka = 220; %sirka okna
vyska = (pocetTypuvyrobu+1.4) * 18;
scrsz = get(0,'ScreenSize');
f = figure('Position',[scrsz(3)/5, scrsz(4)-vyska-200, sirka, vyska + 100], 'MenuBar', 'none',
for k = 1:1:pocetTypuvyrobu
    str = sprintf('výrobek %2u', k);
    radky{k} = str;
end
sloupce{1} = 'Náklady';
columnEditable(1) = true;
columnFormat{1} = 'bank';

data = cell(pocetTypuvyrobu, 1);
for ind1 = 1:1:pocetTypuvyrobu,
    if (isscalar(varargin{3}) && varargin{3} > 0)
        data{ind1, 1} = 0;
    else
        data{ind1, 1} = dataSkladovaciNaklady(ind1, 1);
    end
end

tab_data = uitable('Parent',f,'ColumnName',sloupce,'RowName',radky,'Columnwidth',{100}, 'column
pb_ok = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'OK','Position', [20 20 80 30], 'callback',

function pb_ok_callback(hObject, event, handles, object)
par = get(hObject, 'Parent'); % handle na rodice
chil = get(par, 'Children'); % handle na vsechny deti rodice
data = get(chil(2), 'data'); % zisk dat z tabulky
data = cell2mat(data); % prevod dat na pole
ra = length(data);
for ind1 = 1:1:ra
    if (isnan(data(ind1, 1)) || data(ind1, 1) < 0)
        errordlg('Některá z hodnot ve špatném formátu!', 'chyba zadání');
        return;
    end
end
set(handles.edit_sklad, 'String', 'Zadáno');
set(handles.push_zadejObjednavku, 'enable', 'on');
set(handles.push_zadejvyrobu, 'enable', 'on');
set(handles.push_zadejsklad, 'enable', 'on');
set(handles.push_zadejDopravu, 'enable', 'on');
set(handles.pop_horizont, 'enable', 'on');
set(handles.pop_kapStroje, 'enable', 'on');
set(handles.pop_kapAuta, 'enable', 'on');
```

Zdroj: Autor

Příloha E Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – určení distribučních nákladů

```
function DopravniNaklady(varargin)
% function DopravniNaklady(handles, object, pocetzakazniku)
% nebo
% function VyrobníNaklady(handles, object, dataDopravniNaklady)
% handles ... handles od gui, které tuto funkci volá
% object ... object, který funkci volá

if (isscalar(varargin{3})) % jeste nejsou znamy zadne predchozi naklady
    pocetzakazniku = varargin{3};
else % uz máme předchozí data
    dataDopravniNaklady = varargin{3};
    pocetzakazniku = length(dataDopravniNaklady) - 1; % prvni pozice je sklad, druha prvni zakaznik
end
handles = varargin{1};
object = varargin{2};

%vytvoreni tabulky k nastaveni objednavky
sirka = (pocetzakazniku+2) * 40 + 150; %sirka okna
vyska = (pocetzakazniku+2,4) * 18;
scrsz = get(0,'ScreenSize');
f = figure('Position',[scrsz(3)/5, scrsz(4)-vyska-200, sirka, vyska + 100], 'MenuBar', 'none', 'CloseRequestFcn', @

for k = 1:1:pocetzakazniku
    str = sprintf('zakaznik %2u', k);
    radky{k} = str;
end
radky{end + 1} = 'sklad';

columneditable(1) = true;
columnformat{1} = 'bank';
for k = 1:1:pocetzakazniku + 1
    str = sprintf('%3u', k);
    sloupce{k} = str;
    columneditable(k) = true;
    columnformat{k} = 'bank';
end
sloupce{end} = 'sklad';

data = cell(pocetzakazniku+1, pocetzakazniku+1);
for ind1 = 1:1:pocetzakazniku+1,
    for ind2 = 1:1:pocetzakazniku+1,
        if (isscalar(varargin{3}))
            data{ind1, ind2} = 0;
        else
            data{ind1, ind2} = dataDopravniNaklady(ind1, ind2);
        end
    end
end
end

tab_data = uitable('Parent',f,'ColumnName',sloupce,'RowName',radky,'Columnwidth',{40}, 'columneditable', columnedit:
pb_ok = uicontrol('Style', 'pushbutton', 'String', 'OK','Position', [20 20 80 30], 'callback', {@pb_ok_callback, ha

function pb_ok_callback(hObject, event, handles, object)
par = get(hObject, 'Parent'); % handle na rodice
chil = get(par, 'children'); % handle na vsechny deti rodice
data = get(chil(2), 'data'); % zisk dat z tabulky
data = cell2mat(data); % prevod dat na pole
[ra, sl] = size(data);
for ind1 = 1:1:ra
    for ind2 = 1:1:sl
        if (isnan(data(ind1, ind2)) || data(ind1, ind2) < 0)
```

Zdroj: Autor

Příloha F Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – inicializace první generace

```
function populace = inicializace(objednavka, pocetJedincu, kapacitaAuta)
%Funkce vytvori uvodni populaci jedincu na zaklade objednavky
%objednavka ... matice tvaru
%   vyrobek1   vyrobek2   ...
% Zak1        1         0
% Zak2        2         3
% ...         ...         ...

% gen = [1, 2, 1] gen tvoren typem vyrobku, cislem zakaznika a cislem dopravního prostredku
pocetGenu = sum(objednavka(:)); %delka jedince
jedinec = cell(1, pocetGenu);

[poczak, pocvyr] = size(objednavka); %pocet zakazniku a pocet vyrobku
k = 0; %pocitadlo
for ind1 = 1:1:poczak
    for ind2 = 1:1:pocvyr
        if objednavka(ind1, ind2) > 0
            for ind3 = 1:1:objednavka(ind1, ind2)
                k = k + 1;
                jedinec{1, k} = [ind2, ind1];
            end
        end
    end
end
end %vytvoreni jedince podle objednavky (bez dopravy)

populace = cell(pocetJedincu,1);
for ind = 1:1:pocetJedincu
    populace{ind,1} = jedinec(randperm(pocetGenu));
    vektorDoprav = vektorDopravy(pocetGenu, kapacitaAuta); %vygenerovani aut pro jednotlivé geny
    for ind2 = 1:1:pocetGenu
        populace{ind,1}{ind2}(end+1) = vektorDoprav(ind2);
    end %Pridani auta pro kazdy gen
end %vytvoreni prislusneho poctu jedincu permutaci uvodniho jedince

end

function vektorDoprav = vektorDopravy(pocetGenu, kapacitaAuta)
%Funkce vytvori vektor pouziti jednotlivych aut

podminka = 1;
while(podminka)
    pocetAut = randi(pocetGenu);
    podminka = pocetGenu > pocetAut * kapacitaAuta;
end %Pocet aut pouzitych pro dopravu

podminka = 1;
while(podminka)
    cetnostAuta = zeros(1, pocetAut);
    cetnostAuta(1) = randi([1, min(kapacitaAuta, pocetGenu-(pocetAut-1))]);
    for ind = 2:1:(pocetAut-1)
        cetnostAuta(ind) = randi([1, min(kapacitaAuta, (pocetGenu - sum(cetnostAuta(1:ind-1)) - (pocetAut - ind)))]);
    end
    cetnostAuta(pocetAut) = min(kapacitaAuta, pocetGenu - sum(cetnostAuta(1:pocetAut-1)));
    podminka = sum(cetnostAuta) ~= pocetGenu;
end %vypocet cetnosti jednotlivych aut pouzitych pro prepravu

vektorDoprav = double.empty(0);
for ind = 1:1:length(cetnostAuta)
    vektorDoprav = [vektorDoprav ind * ones(1, cetnostAuta(ind))];
end
end
```

Zdroj: Autor

Příloha G Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – výpočet fitness funkce

```
function f = fitnessfun(jedinec, vyroba, sklad, doprava, kapacitaLinky)
% vypocet fitness funkce jedince

%jedinec ... pole bunek genu tvaru [typvyrobku zakaznik DopraAuto] definujici postupny postup vyroby na lince

%vyroba ... matice vyrobnich nakladu pri prestavbe linky tvaru
% vyrobek1 vyrobek2 ...
% vyrobek1 0 15
% vyrobek2 20 0
% ... ...

%sklad ... matice nakladu na sklad tvaru
% naklad
% vyrobek1 10
% vyrobek2 20
% ... ...

%doprava ... matice vzdalenessi mezi skladem a jednotlivymi zakazniky tvaru
% Zakaznik1 ... sklad
% Zakaznik1 0 ... 15
% ... ..
% sklad 15 ... 0
%

%kapacitaLinky ... kolik vyrobku se vyrobi denne na lince

% vypocet vyrobnich nakladu
vyrobniNaklady = 0;
for ind = 2:1:length(jedinec)
    if (jedinec{ind}(1) ~= jedinec{ind - 1}(1))
        vyrobniNaklady = vyrobniNaklady + vyroba(jedinec{ind - 1}(1), jedinec{ind}(1));
    end
end

%vypocet skladovacich nakladu
skladovaciNaklady = 0;
vektorDoprav = zeros(1, length(jedinec));
for ind = 1:1:length(jedinec)
    vektorDoprav(ind) = jedinec{ind}(3); %vytazeni vektoru s auty
end
maxAuto = max(vektorDoprav); %nalezeni poctu pouzitych aut
for ind = 1:1:maxAuto
    vektorAuta = find(vektorDoprav == ind); %cisla genu, na ktere je pouzito auto ind
    vektorNakl = zeros(1, length(vektorAuta)); %Zde budou ulozeny naklady jednotlivych polozek jedoucich autem ind
    for ind2 = 1:1:length(vektorAuta)
        vektorNakl(ind2) = (cisloDne(vektorAuta(end), kapacitaLinky) - cisloDne(vektorAuta(ind2), kapacitaLinky)) * sklad(jedinec{vek
    end
    skladovaciNaklady = skladovaciNaklady + sum(vektorNakl);
end

%vypocet dopravnich nakladu
dopravniNaklady = 0;
for ind = 1:1:maxAuto
    vektorAuta = find(vektorDoprav == ind); %cisla genu, na ktere je pouzito auto ind
    vektorZakaz = zeros(1, length(vektorAuta));
    for ind2 = 1:1:length(vektorAuta)
        vektorZakaz(ind2) = jedinec{vektorAuta(ind2)}(2); %Do vektorZakaz ulozi zakazniky, ktere obsluhuje auto ind
    end
    vektorZakaz = unique(vektorZakaz); %odstraneni duplicit (napr dva vyrobky k jednomu zakaznikovi) - vysledkem je seznam zakazniku,
    vektorZakaz = [length(doprava) vektorZakaz]; %Pridani skladu jako vychoziho bodu vyjizdky
```

Zdroj: Autor

Příloha H Část zdrojového kódu vytvořeného algoritmu – křížení

```
function [jedinecNew1, jedinecNew2] = krizeni(jedinec1, jedinec2, kapacitaAuta)
% krizeni jedincu
%jedinec ... pole bunek genu tvaru [typvyrobku zakaznik DoprAuto] definujici postupny postup vyroby na lince
% kapacitaAuta ... kvuli kontrole, aby novi jedinci neprekrocili kapacitu aut
delka = length(jedinec1);
bod = randi(length(jedinec1)-1); %bod krizeni
vd1 = vektorDopravy(jedinec1);
vd2 = vektorDopravy(jedinec2); % ulozeni rozlozeni dopravy, kdyby potomci meli chybnou dopravu
%bod = 2;
rodic1 = 1:1:delka;
rodic2 = zeros(size(rodic1));
for ind1 = 1:1:delka
    for ind2 = 1:1:delka
        if(sum(jedinec1{ind2}(1:2)) == jedinec2{ind1}(1:2)) == 2 && sum(find(rodic2 == ind2)) == 0)
            rodic2(ind1) = ind2;
        end
    end
end %vytvoreni representace rodicu pomoci poradnicovych vektoru
potomek1 = zeros(size(rodic1));
potomek2 = zeros(size(rodic2));

potomek1(bod+1:end) = rodic2(bod+1:end); %vymena genu od bodu krizeni
potomek2(bod+1:end) = rodic1(bod+1:end); %vymena genu od bodu krizeni

for ind = 1:1:bod
    if(~isscalar(find(rodic1(ind) == potomek1(bod+1:end))))
        potomek1(ind) = rodic1(ind);
    end
    if(~isscalar(find(rodic2(ind) == potomek2(bod+1:end))))
        potomek2(ind) = rodic2(ind);
    end
end %Doplneni nekonfliktnich genu

for ind = 1:1:bod
    if(potomek1(ind) == 0)
        k = 1;
        while(sum(k == potomek1))
            k = k + 1;
        end
        potomek1(ind) = k;
    end
    if(potomek2(ind) == 0)
        k = 1;
        while(sum(k == potomek2))
            k = k + 1;
        end
        potomek2(ind) = k;
    end
end %Doplneni zbyvajicich genu

jedinecNew1 = cell(size(jedinec1));
jedinecNew2 = cell(size(jedinec2));

for ind = 1:1:length(jedinec1)
    jedinecNew1{ind} = jedinec1{potomek1(ind)};
    jedinecNew2{ind} = jedinec1{potomek2(ind)};
end
```

Zdroj: Autor