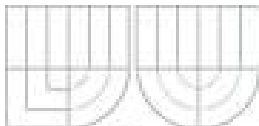




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT



OPTIMALIZACE LOGISTICKÉHO TOKU V PODNIKU

OPTIMIZATION OF LOGISTIC FLOW IN THE ENTERPRISE

DISERTAČNÍ PRÁCE

DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Radim Dvořáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. RNDr. Bohdan Linda, CSc.

BRNO 2009

ABSTRAKT

Tato disertační práce se týká, dle názoru autora stále aktuálního, tématu optimalizace v logistickém systému, se zaměřením na podnikovou sféru. Jejím cílem je nalezení vhodné metodiky na definovaný problém a její následná aplikace na konkrétní případovou studii.

Teoretická část práce začíná popisem a analýzou současného stavu problematiky optimalizace logistického toku a uvedením metod, které lze na logistické problémy aplikovat. Uvedeny jsou všechny tři skupiny metod, a to metody exaktní, metody heuristické a metody kombinované. Analýza metod dále pokračuje hledáním metody, vhodné pro aplikaci na oblast podnikové sféry, konkrétně pro použití ve výrobním podniku. Zde je prostor věnován zejména problematice návrhu layoutu, protože úloha návrhu vhodného layoutu je jednou z fundamentálních úloh každého podniku. Zatímco plánování výroby a obnova výrobních zařízení je záležitostí do jisté míry operativní a v čase proměnnou, v případě layoutu -pomineme-li uvedené výměny zařízení (staré za nové), nebo drobné prostorové úpravy v rámci oddělení, layout zůstává v zásadě obvykle několik let neměnný. Z uvedených důvodů je tedy těžiště práce zaměřeno na navržení vhodné metodiky pro uspořádání layoutu. Vlastní vědecký přínos je uveden na konci teoretické části, kterým je nově upravená metodika tak, aby lépe vyhovovala praktickému použití.

Praktická část začíná popisem konkrétní případové studie, tj. současného stavu logistického systému podniku. Popis zahrnuje procesy řízení nákupu, výroby, prostorové uspořádání procesů a také problémy, které ze současného uspořádání vyplývají. Aplikace vhodných metod sestává z aplikace metody skupinové technologie – metody původní, metody nové a jejich vzájemného porovnání a dále aplikací doplňujících, známé metody (metoda mapování hodnotového toku) na konkrétní problém popsaného podniku.

Výsledkem je doporučení pro změny konkrétního uspořádání materiálového toku, vzniklé kompromisním řešením po sloučení výsledků metod skupinové technologie a metody mapování hodnotového toku.

ABSTRACT

The dissertation is concerned about, according to author still “live” problem of optimization of logistic flow, with scope to company environment. The aim is to find correct methodology for defined problem and to apply it to particular case study.

Theoretical part begins with description and analysis of actual state of problematic of logistic flow optimization and listing the methods which are able to be applied to these problems. The three main groups – exact methods, heuristic methods and combined methods take part in. The analysis continues further with searching the methods, useful for application in production company environment. Vast focus is on layout design task, because once layout is created, except some minor changes, it lasts usually for some years and therefore it is necessary to consider it properly. Moreover, there is also difference between other characteristics of production, as production planning and machines / technologies upgrade and layout; the former are in a certain manner changeable and not stable, but the layout cannot be changed on for ex. weekly basis. Contribution to research is located at the end of theoretical part, which is newly modified methodology to be more suitable for practical application.

Practical part begins with the description of particular case study, e.g. actual status of logistic system in enterprise. The processes described include purchasing management, production management and mainly layout design of production space. The application of suitable methods consists of group technology methods – already known method, plus newly modified method and their mutual comparison. In addition is included already known value stream mapping method.

The result is recommendation for change in layout design, developed by integration of results, brought by group technology methods and value stream mapping method.

Klíčová slova:

Logistický systém, Dodavatelský řetězec, Materiálový tok, Optimalizace, Heuristické metody, Štíhlá výroba, Návrh prostorového uspořádání, Skupinová technologie, Mapování hodnotového toku

Keywords:

Logistic system, Supply chain, Material flow, Optimization, Heuristic methods, Lean production, Layout design, Group technology, Value stream mapping

Bibliografická citace

DVOŘÁČEK, R.: Optimalizace logistických toků v podniku. Disertační práce. Brno: Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2009. 123s. Vedoucí disertační práce Doc. RNDr. Bohdan Linda, CSc.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou disertační práci zpracoval samostatně, na základě studia uvedené literatury a pod vedením svého školitele.

V Brně 31. 3. 2009

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli, p. Doc. RNDr. Bohdanu Lindovi, CSc. za vedení, metodické i odborné rady v průběhu studia, při zpracování této disertační práce a za důležité připomínky a náměty.

Dále si zaslouží moje poděkování všichni, kteří mně v tomto studiu podpořili, tedy mí blízcí a přátelé a za nejruznější tvůrčí náměty a odborné rady jak kolegové z podnikové sféry, ve které se pohybuji, tak i pracovníci VUT FP.

OBSAH

ABSTRAKT	2
ABSTRACT	3
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	12
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	13
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	14
1 ÚVOD	15
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	17
3 VÝCHODISKA DISERTAČNÍ PRÁCE	18
3.1 VYMEZENÍ POJMŮ ŘEŠENÉHO PROBLÉMU	18
3.1.1 <i>Logistický tok</i>	18
3.1.2 <i>Optimalizace</i>	18
4 METODIKA ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE	19
4.1 ZÁKLADNÍ POJMY	19
4.2 METODY POUŽITÉ PŘI ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE	19
5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU DANÉ PROBLEMATIKY	20
5.1 METODY ŘEŠENÍ LOGISTICKÝCH PROBLÉMŮ	20
5.1.1 <i>Metody pro podporu programů a obchodní logistické nabídky</i>	20
5.1.2 <i>Metody pro podporu rozhodování</i>	21
5.1.3 <i>Výběr metody</i>	21
5.1.4 <i>Metody algoritmického přístupu (metody exaktní)</i>	24
5.1.5 <i>Metody heuristického přístupu</i>	25
5.1.6 <i>Možnosti aplikace softwarových prostředků</i>	27
5.2 PROBLEMATIKA ROZVRHOVÁNÍ	29
5.2.1 <i>Rozvrhování hromadné výroby (flow shop scheduling)</i>	31
5.2.2 <i>Rozvrhování zakázkové výroby (job shop scheduling)</i>	32
5.3 METODY ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ROZVRHOVÁNÍ	35
5.3.1 <i>Přesné metody řešení problému rozvrhování</i>	35
5.3.2 <i>Heuristické metody řešení problému rozvrhování</i>	37
5.4 OPTIMALIZACE V SOUČASNÉ PODNIKOVÉ PRAXI	40
6 PROBLÉM NALEZENÍ VHODNÉ METODIKY	42
6.1 PROBLÉM NÁVRHU LAYOUTU	43
6.1.1 <i>Typický rozsah problémů layoutu</i>	43

6.1.2	Návrh layoutu pomocí QAP	43
6.1.3	Návrh layoutu - problematika uzavřeného okruhu (loop layout design).....	47
6.1.4	Návrh layoutu pomocí metodiky VSM.....	48
6.1.5	Návrh layoutu pomocí Skupinové technologie (GT)	49
7	ÚPRAVA A NÁVRH VHODNÉ METODIKY	70
7.1	ÚPRAVA MODELU PRO USPOŘÁDÁNÍ STROJOVÝCH BUNĚK (J-T MODEL).....	70
7.1.1	Aplikace upraveného modelu "Model j-t" uspořádání strojových buněk na testovací příklad.....	70
8	APLIKACE METODIKY NA PŘÍPADOVOU STUDII	80
8.1	POPIS SOUČASNÉHO STAVU LOGISTICKÉHO SYSTÉMU PODNIKU	80
8.1.1	Procesy zpracování objednávek, řízení výroby, nákupu a skladování	81
8.1.2	Výrobní a kontrolní procesy.....	83
8.1.3	Prostorové uspořádání procesů.....	87
8.1.4	Problémy současného stavu logistického systému podniku	87
8.1.5	Stav dosud provedených úprav	89
8.1.6	Předběžné výsledky úprav materiálového toku.....	90
8.2	APLIKACE METODIKY SKUPINOVÉ TECHNOLOGIE	90
8.2.1	Řešení s použitím původní metodiky (dle Jaganathana)	91
8.2.2	Řešení s použitím upravené metodiky (J-T metodika)	97
8.2.3	Porovnání výsledků původní a upravené metodiky	105
8.3	APLIKACE METODY VSM.....	106
8.3.1	Výběr vhodných metrik.....	106
8.3.2	Výběr vhodné rodiny výrobků.....	107
8.3.3	Budoucí stav uspořádání procesů.....	108
8.3.4	Úspory dosažené aplikací metody VSM.....	111
8.4	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ POUŽITÝCH METODIK A NAVRŽENÁ DOPORUČENÍ	112
9	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM	114
9.1	REKAPITULACE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	114
9.2	NAPLNĚNÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE	114
9.3	PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE	115
9.4	DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM	115
10	POUŽITÁ LITERATURA.....	116

SEZNAM TABULEK

TABULKA 5.1. METODICKÁ ORIENTACE, (PERNICA, 1998)	23
TABULKA 5.2: PŘÍKLAD ZADÁNÍ PROBLÉMU PROUDOVÉ VÝROBY PRO $n = 3$ ÚLOHY A $m = 3$ STROJE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	31
TABULKA 5.3: PŘÍKLAD ZADÁNÍ PROBLÉMU ZAKÁZKOVÉ VÝROBY PRO $n = 3$ ÚLOHY A $m = 3$ STROJE (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	33
TABULKA 6.1: MATICE VÝROBKŮ SE SEKVENCÍ A VYRÁBĚNÝM MNOŽSTVÍM, (NAIR A NARENDRAN, 1998)	53
TABULKA 6.2: MATICE PODOBNOSTNÍCH INDEXŮ STOJŮ, (NAIR A NARENDRAN, 1998)	53
TAB. 6.3: MATICE STROJ-KOMPONENTA A VÝROBNÍ OBJEM, (NAIR A NARENDRAN, 1998)	55
TAB. 6.4: MATICE STROJ-KOMPONENTA A VÝROBNÍ OBJEM, (NAIR A NARENDRAN, 1998)	55
TAB. 6.5: MATICE VÝROBKŮ SE SEKVENCÍ A VYRÁBĚNÝM MNOŽSTVÍM (JAGANATHAN, 2007)	64
TAB. 6.6: TOK MATERIÁLU MEZI STROJI PRO VŠECHNY VÝROBKY [V KUSECH], (JAGANATHAN, 2007)	65
TABULKA 6.7: DETAILNÍ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ PO APLIKACI ROVNICE (6.13), (JAGANATHAN, 2007)	65
TABULKA 6.8: ZOBRAZENÍ BUŇKY 1, (JAGANATHAN, 2007)	68
TABULKA 6.9: NAVRŽENÝ LAYOUT PRO BUŇKU 2, (JAGANATHAN, 2007)	68
TABULKA 6.10: TRANSFERY MEZI BUŇKAMI A STROJI, (JAGANATHAN, 2007)	69
TABULKA 7.1: MATICE VÝROBKŮ SE SEKVENCÍ, VYRÁBĚNÝM MNOŽSTVÍM A POČTY KUSŮ V TRANSPORTNÍM BOXU, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	71
TABULKA 7.2: ZNÁZORNĚNÍ TOKU MATERIÁLU MEZI STROJI PRO VŠECHNY VÝROBKY [V TRANSPORTNÍCH BOXECH] (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	72
TABULKA 7.3: MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK DLE JAGANATHANA SEŘAZENÉ DLE HODNOTY TOKU MEZI BUŇKAMI [V POČTECH KUSŮ] (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	74
TABULKA 7.4: MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK DLE MODELU J-T SEŘAZENÉ DLE HODNOTY TOKU MEZI BUŇKAMI [MNOŽSTVÍ V POČTECH BOXŮ] (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	74
TABULKA 7.5: DETAILNÍ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ PO APLIKACI ROVNICE (7.1); [MNOŽSTVÍ V POČTECH BOXŮ] – VARIANTA „55“ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	75
TABULKA 7.6: DETAILNÍ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ PO APLIKACI ROVNICE (7.1); [MNOŽSTVÍ V POČTECH BOXŮ] – VARIANTA „56“ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	75
TABULKA 7.7: SCHÉMA „ZE STROJE-NA STROJ“ PRO BUŇKU 1, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	78
TABULKA 7.8: SCHÉMA „ZE STROJE-NA STROJ“ PRO BUŇKU 2, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	78
TABULKA 7.9: TRANSPORTY MEZI BUŇKAMI A STROJI, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	78
TABULKA 8.1: ORIENTAČNÍ POČTY DODÁVANÝCH KUSŮ ZA MĚSÍC, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	81
TABULKA 8.2: PŘEHLED STROJŮ A K NIM PŘÍŘAZENÝCH PROCESŮ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	85
TAB. 8.3: USPOŘÁDÁNÍ PROCESŮ DO FORMY STROJŮ, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	90
TAB. 8.4: OZNAČENÍ PROCESŮ PRO VÝPOČET, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	91
TAB. 8.5: MATICE VÝROBKŮ SE SEKVENCÍ A VYRÁBĚNÝM MNOŽSTVÍM, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	91
8.6: TOK MATERIÁLU MEZI STROJI PRO VŠECHNY VÝROBKY [V KUSECH], (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	93
TABULKA 8.7: MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ VÝPOČTEM Z ROVNICE (6.13), (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	93
TABULKA 8.8: VÝSLEDNÉ NEJVHODNĚJŠÍ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ VÝPOČTEM Z ROVNICE (6.13), (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	94
TABULKA 8.9: ZOBRAZENÍ BUŇKY 1, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	96
TABULKA 8.10: NAVRŽENÝ LAYOUT PRO BUŇKU 2, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	96
TABULKA 8.11: TRANSFERY MEZI BUŇKAMI A STROJI, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	96
TABULKA 8.12: MATICE VÝROBKŮ S ROZDĚLENÍM NA JEDNOTLIVÉ STROJE, S VYRÁBĚNÝM MNOŽSTVÍM A POČTY KUSŮ V TRANSPORTNÍM BOXU, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	97
TABULKA 8.13: ZNÁZORNĚNÍ TOKU MATERIÁLU MEZI STROJI PRO VŠECHNY VÝROBKY [V TRANSPORTNÍCH BOXECH], (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	99
TABULKA 8.14: MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK ZÍSKANÝCH METODOU J-T, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	100

TABULKA 8.15: DETAILNÍ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ PO APLIKACI ROVNICE (7.1); [MNOŽSTVÍ V POČTECH BOXŮ] – PRO VARIANTU „54“ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	100
TABULKA 8.16: DETAILNÍ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, ZÍSKANÉ PO APLIKACI ROVNICE (7.1); [MNOŽSTVÍ V POČTECH BOXŮ] – PRO VARIANTU „39“ (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	101
TABULKA 8.17: SCHÉMA „ZE STROJE-NA STROJ“ PRO BUŇKU 1, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	103
TABULKA 8.18: SCHÉMA „ZE STROJE-NA STROJ“ PRO BUŇKU 2, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	103
TABULKA 8.19: EXTERNÍ TRANSPORTY MEZI BUŇKAMI, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	104
TABULKA 8.20: MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK – POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZÍSKANÝCH METODOU DLE JAGANATHANA A METODOU J-T, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).	106

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1.1: DODAVATELSKÝ ŘETĚZEC, (TEKESTE, 2001)	15
OBRÁZEK 1.2: ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA TOKU INFORMACÍ A MATERIÁLU, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	16
OBR. 5.1 - PROSTŘEDÍ SOFTWAREVÉHO BALÍKU SIMUL8 (ZDROJ: WWW.SIMUL8.CZ)	27
OBR. 5.2 - PROSTŘEDÍ SOFTWAREVÉHO BALÍKU WITNESS (ZDROJ: HTTP://WWW.HUMUSOFT.CZ)	29
OBRÁZEK 5.3: PŘÍKLAD ROZVRHU HROMADNÉ VÝROBY; (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	32
OBRÁZEK 5.4: PŘÍKLAD ROZVRHU ZAKÁZKOVÉ VÝROBY, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	34
OBRÁZEK 6.1: ZÁKLADNÍ OBLASTI INTEGROVANÉHO VÝROBNÍHO SYSTÉMU (GEN, 2007).....	42
OBR. 6.2: PŘÍKLAD MOŽNÝCH (KANDIDÁTNÍCH) LOKACÍ PRO UMÍSTĚNÍ STROJŮ (GEN, 2007)	46
OBR. 6.3: SCHÉMA PŘÍKLADU PROBLÉMU LAYOUTU UZAVŘENÉHO OKRUHU, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	47
OBR. 6.4: USPOŘÁDÁNÍ STROJŮ A KOMPONENT DO SKUPIN, (NAIR A NARENDRAN, 1998).....	54
OBR. 6.5: USPOŘÁDÁNÍ STROJŮ A KOMPONENT DO SKUPIN, (NAIR A NARENDRAN, 1998).....	55
OBR. 6.6: POHYB MEZI BUŇKAMI, (JAGANATHAN, 2007)	67
OBR. 6.7: USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, (JAGANATHAN, 2007).....	68
OBR. 6.8: USPOŘÁDÁNÍ BUŇKY 1, (JAGANATHAN, 2007).....	69
OBR. 6.9: USPOŘÁDÁNÍ BUŇKY 2, (JAGANATHAN, 2007).....	69
OBR. 6.10: VÝSLEDNÉ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, (JAGANATHAN, 2007).....	69
OBR. 7.1: POHYB MEZI BUŇKAMI, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	77
OBR. 7.2: USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	77
OBR. 7.3: NAVRŽENÝ VÝCHOZÍ LAYOUT BUŇKY 1, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	78
OBR. 7.4: NAVRŽENÝ VÝCHOZÍ LAYOUT BUŇKY 2, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	78
OBR. 7.5: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TRANSPORTŮ MEZI STROJI V BUŇKÁCH – VÝCHOZÍ USPOŘÁDÁNÍ, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	79
OBR. 7.6: SANKEYŮV DIAGRAM TRANSPORTŮ MEZI STROJI V BUŇKÁCH – VÝCHOZÍ USPOŘÁDÁNÍ, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	79
OBR. 7.7: SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TRANSFERŮ MEZI STROJI V BUŇKÁCH – VÝSLEDNÉ ŘEŠENÍ, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	80
OBR. 7.8: SANKEYŮV DIAGRAM TRANSFERŮ MEZI STROJI V BUŇKÁCH – VÝSLEDNÉ USPOŘÁDÁNÍ, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	80
OBRÁZEK 8.1: SCHÉMA LOGISTICKÉHO PROCESU (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	86
OBRÁZEK 8.2: USPOŘÁDÁNÍ JEDNOTLIVÝCH PRACOVÍŠŤ SE ZNÁZORNĚNÍM TOKU MATERIÁLU (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	87
OBRÁZEK 8.3: ZMĚNA TYPU SKLADOVACÍHO SYSTÉMU V PROSTORÁCH SKLADU (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	89
OBR. 8.4: SCHÉMA TRANSPORTU MEZI BUŇKAMI, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	95
OBR. 8.5: USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	95
OBR. 8.6: VÝSLEDNÉ USPOŘÁDÁNÍ BUNĚK, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	97
OBR. 8.7: TRANSPORT MEZI BUŇKAMI, VÝCHOZÍ NÁVRH, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	103
OBR. 8.8: NAVRŽENÝ VÝCHOZÍ LAYOUT BUŇKY 1, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	103
OBR. 8.9: NAVRŽENÝ VÝCHOZÍ LAYOUT BUŇKY 2, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	104
OBR. 8.10: SANKEYŮV DIAGRAM TRANSFERŮ MEZI STROJI V BUŇKÁCH – VÝSLEDNÉ USPOŘÁDÁNÍ, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	104
OBR. 8.11: NAVRŽENÝ VÝSLEDNÝ LAYOUT BUŇKY 1, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	104
OBR. 8.12: NAVRŽENÝ VÝSLEDNÝ LAYOUT BUŇKY 2, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	105
OBR. 8.13: NAVRŽENÝ VÝSLEDNÝ LAYOUT OBOU BUNĚK, (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	105
OBR. 8.14: SCHÉMA TOKU (ŠPAGETOVÝ DIAGRAM) BUDOUCÍHO USPOŘÁDÁNÍ PROCESŮ (PRO DANOU RODINU VÝROBKŮ), (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	108
OBR. 8.15: MAPA BUDOUCÍHO USPOŘÁDÁNÍ PROCESŮ (PRO DANOU RODINU VÝROBKŮ), (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ).....	111
OBR. 8.16: SCHÉMA TOKU (ŠPAGETOVÝ DIAGRAM) NAVRŽENÉHO VÝSLEDNÉHO USPOŘÁDÁNÍ PROCESŮ (PRO DANOU RODINU VÝROBKŮ), (VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ)	113

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

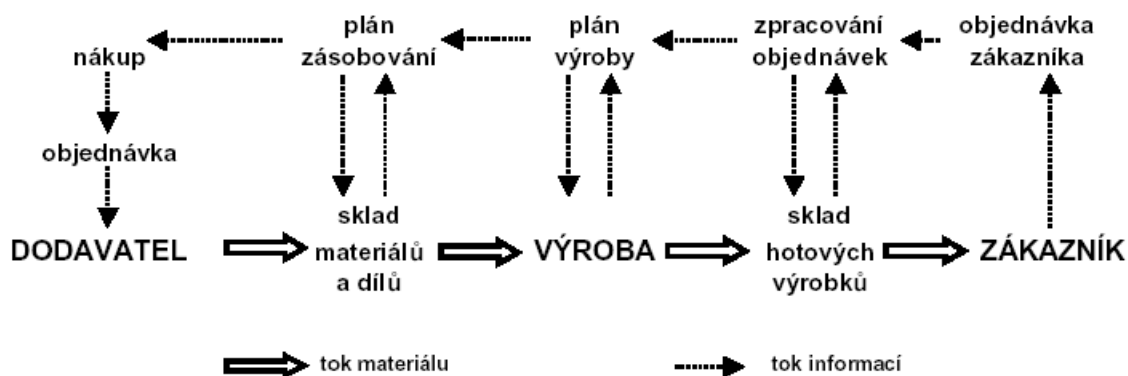
5S	Metoda úklidu a vytváření základních standardů.
FIFO	(First In First Out) - režim průtoku zboží zaručující, že první uskladněná skladovací jednotka (nejdéle skladovaná zásoba) bude vyskladněna jako první.
GT	(Group technology) – skupinová technologie – metodika používaná v optimalizaci výrobních operací, která rozděluje výrobky a komponenty do skupin dle jejich podobnosti.
JIT	(Just In Time) - princip optimalizace zásob, právě včas na správné místo, v požadované kvalitě a množství.
PCB	(Printed Circuit Board) – deska plošných spojů, - součástka používaná v elektronice.
SCM	(Supply Chain Management) - Řízení dodavatelského řetězce.
SMED	(Single Minute Exchange of Dies) – metoda, umožňující zkrácení časů výměny nástrojů.
SMT	(Surface Mount Technology) – technologie povrchové montáže; postup, kdy se vývody součástek pájí přímo na povrch plošného spoje.
SPC	(Statistic Process Control) - aplikace statistických metod a technik na kontrolu procesu.
TQM	(Total Quality Management) - organizované činnosti v rámci koncepce Kaizen, týkající se všech zaměstnanců společnosti, včetně managementu, jako součást integrovaného úsilí o zdokonalování výkonů na všech úrovních. Dříve označován též jako „TQC – Total Quality Control“.
VSM	(Value Stream Mapping) – metoda mapování hodnotového toku výrobních i nevýrobních procesů přes celý podnik, tj. od objednávky až po expedici výrobku.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

B	$[b_{ijp}]$ vstupní matice incidence komponenta-stroj
b_{jip}	číslo sekvence operací, pokud j -tá ($1 \leq j \leq n$) komponenta je zpracovávána na i -tém ($1 \leq i \leq n$) stroji po p -tý čas ($1 \leq p \leq n$); jinak 0
c	maximální počet strojních buněk
d_r	výrobní množství pro komponentu „ r “
i, j	index typu stroje
k	index buněk (rodin), $k = 1, \dots, p$
L_c	spodní limit velikosti strojové buňky
L_f	spodní limit velikosti rodiny komponent
m	počet strojů (řádky)
n	počet komponent (sloupce)
n_{ji}	počet, kolikrát j -tá komponenta je zpracovávána na i -tém stroji ($n_{ji} \geq 0$)
NOP_k	celkový počet ne-operací (mezer) v k -té buňce
n_r	celkový počet požadovaných operací vyžadovaných komponentou „ r “
p_{max}	maximální počet buněk
p_{min}	minimální počet buněk
r	index typu komponenty, $r = 1 \dots n$
r_j	maximální počet operací pro komponentu j
$s(i, l)$	podobnostní index mezi stroji i a l
$TOTOP_k$	celkový počet operací v k -té buňce
t_r	množství komponenty r v jednom přepravním boxu
U_c	horní limit velikosti strojové buňky
U_f	horní limit velikosti rodiny komponent
W_j	Hmotnost komponenty j
β	Bond efektivita

výrobcem automobilů) požadované procento, snižuje. Toto si může dovolit jen díky vnitřním úsporám. Zdrojem k nalezení úspor je nejčastěji právě logistický řetězec.

Na obrázku 2 je ukázka jednoduchého schématu toku materiálu a informací ve výrobním podniku. Lze říci, že tok informací je oproti toku materiálu více rozvětven. Získané informace nám slouží převážně k zjištění současného stavu, na jehož základě uskutečníme určitá rozhodnutí. Ve výrobním podniku jsou nejdůležitější ta rozhodnutí, kterými řídíme tok materiálu.



Obrázek 1.2: Zjednodušené schéma toku informací a materiálu, (vlastní zpracování)

V souvislosti s optimalizací procesů a snižováním nákladů v dodavatelském řetězci existuje celá řada pojmů, technik a způsobů. V praktické příručce o výrobní strategii (Quarterman, Syndler, 2006) se lze setkat s pojmy jako jsou například 5S, Cellular Manufacturing (Buňková výroba), Continuous flow (Nepřetržitý tok), Six Sigma, Elimination of waste (Eliminace neefektivit), Kaizen, Kanban, Lean: production / accounting / suppliers / office (Štíhlá: výroba / účetnictví / dodavatelé / kancelář), One-piece flow (Tok jednoho kusu), Pokayoke, Process mapping (Mapování procesu), SMED – Single Minute Exchange of Dies (Výměna nástrojů v řádu jednotek minut), Self directed work teams (Samořiditelné pracovní týmy), SPC - Statistical Process Control (Statistické řízení procesu), Supplier development (Rozvoj dodavatelů), Total productive maintenance (Úplná údržba výrobních zařízení), TQM-Total quality management (Úplné řízení jakosti), Value stream mapping (Mapování hodnotového toku) a mnoho dalších.

V odborné literatuře a v článkách vědeckých časopisů je na problémy logistického toku a řízení výroby aplikována celá řada metod, které se snaží nalézt algoritmy řešení zcela obecných problémů plánování a rozvrhování. Takovýto obecný problém rozvrhování je dán konečnou množinou výrobků, které je potřeba vyrobit a omezeným počtem výrobních strojů, které jsou k dispozici. Přitom je pro každý výrobek znám technologický postup, který určuje operace ve stanoveném pořadí plus jejich doby trvání a každé operaci přiděluje určitý druh stroje. Problémy jsou dále rozděleny na problematiku rozvrhování zakázkové výroby (*job shop scheduling*) v případě, kdy pořadí strojů smí být pro každý výrobek různé a rozvrhování hromadné výroby (*flow shop scheduling*), kdy pořadí strojů je pro všechny výrobky stejné.

V neposlední řadě lze úlohy optimalizace logistického toku řešit také pomocí software, který je určen k modelování materiálových a informačních toků. Zde se lze setkat s provedením od nejjednodušších programů, které například jen graficky znázorňují objemy materiálových toků (program *eSankey* <http://www.e-sankey.com>), dále například s programem pro podporu provádění analýzy VSM (program *eVSM* <http://evsm.com>, který je nadstavbou známého kancelářského software MS Visio, patřícího k MS Office) až po relativně komplikovaná modelovací prostředí (např. software *Simul8* <http://www.simul8.com>, anebo software *Witness* <http://www.lanner.com>).

Na základě uvedeného se domnívám, že oblast zlepšování a optimalizace řízení dodavatelského řetězce je pro manažery, kteří se zabývají prioritně řízením firmy či jejího oddělení, minimálně nepřehledná, a to především z hlediska praktického řešení a aplikace v konkrétním podniku, přičemž právě příslušní manažeři by měli být těmi, kdo iniciují změny a zlepšení. Optimalizací dodavatelského řetězce se samozřejmě zabývá mnoho jak školících, tak i projektových firem, které v podniku provedou analýzu procesů a navrhnou, případně i realizují zlepšení. To vše jednak za nezanedbatelné finanční prostředky, plus náklady na čas interních zaměstnanců, kteří se na projektu podílí. Vždy na začátku je nutné formulovat vstupní požadavky, které od takového projektu čekáme. V tomto bodě je velmi vhodné mít minimálně nějakou představu, jaké možnosti existují, což souvisí například s výběrem příslušné konzultantské nebo přímo realizační firmy.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Tato práce vzniká jako reakce na výše popsanou situaci a klade si za cíl na základě stávajícího vědeckého poznání jednak analyzovat a posoudit aplikaci stávajících metod na jednotlivé typy reálných úloh a současně přinést vlastní příspěvek k dané problematice:

Hlavní cíl:

- Vytvořit návrh metodiky, která je vhodná pro řešení problémů optimalizace logistických toků ve výrobním podniku, který používá procesy sériové výroby, z oblasti automobilového, elektronického, nebo energetického průmyslu.

Dílčí cíle:

- Analyzovat použití jednak přesných, ale také stochastických, heuristických a kombinovaných metod v praktických aplikacích na podnik dané kategorie.
- Aplikovat navrženou metodiku v případové studii na konkrétní podnik zadané kategorie, porovnání aplikovatelnosti a zpracování návrhů a doporučení pro zlepšení logistického toku v podniku.

3 VÝCHODISKA DISERTAČNÍ PRÁCE

3.1 VYMEZENÍ POJMŮ ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

3.1.1 Logistický tok

S pojmy logistika a jeho odvozeninami, mezi které patří i logistický tok, se lze setkat od odborné literatury až po běžné užití zaměstnanci nejnižších úrovní (nejčastěji průmyslových) firem. Jedná se o pojmy široké, tudíž svým významem poněkud nepřehledné. Rovněž název pracovní funkce "Logistik" se v praxi používá od odborníků na danou oblast až po dělnickou profesi manipulanta s materiálem.

První definice logistiky vznikla v USA v roce 1964 na půdě tehdejšího National Council of Physical Distribution Management, který ji vymezil jako: "proces plánování, realizace a řízení účinného nákladově efektivního toku a skladování surovin, zásob ve výrobě, hotových výrobků a souvisejících informací z místa vzniku do místa spotřeby" (Ballou, 1998).

Především v armádě, v obchodu, ale i v dalších oblastech experti na logistiku řídí jak a přesouvat zdroje na místa spotřeby. V armádní vědě je zmíněno, že udržování vlastních zásobovacích linií a současně snaha o přerušení zásobování u nepřátel je velice zásadní a v některých případech lze říci, že nejdůležitější element válečné strategie.

3.1.2 Optimalizace

V matematice lze optimalizaci definovat například jako obor, zabývající se určením nejlepšího řešení určitého matematicky definovaného problému. Obvykle představuje hodnotu konkrétní funkce. V případě aplikací na praktické ekonomické problémy je optimalizace zahrnuta pod *operační výzkum*. Pojem optimalizace se vztahuje ke studiu problémů ve tvaru:

Je dána funkce $f: A \rightarrow \mathbb{R}$, kde A je obecně nějaká podmnožina n -rozměrného reálného prostoru $\mathbb{R}^n$ a $\mathbb{R}$ množina reálných čísel.

Hledáme prvek x_0 v množině A takový, aby $f(x_0) \geq f(x)$ pro všechna x v množině A („maximalizace"), nebo takový, aby $f(x_0) \leq f(x)$ pro všechna x v A („minimalizace").

V informatice se pod pojmem optimalizace rozumí proces zlepšování systému v různých ohledech; jsou to otázky např. rychlosti provádění příkazů a požadavků na paměť. V tomto případě tyto postupy, přestože se nezývají optimalizace, neznamenají nalezení optimálního řešení problému. To často není možné a namísto toho musí být použity heuristické algoritmy, které nacházejí *nejlepší* řešení na základě zadaných kritérií, tj. buď zadání vymezeného času, nebo zadání počtu iterací.

V ekonomické praxi je pojem optimalizace široce využíván a obecně lze říci, že každé manažerské rozhodnutí by mělo mít za cíl být optimální, protože obvykle co je „nejlepší“ pro jeden faktor či v jedné situaci, není vhodné pro jiný faktor či pro odlišnou situaci. Prvky optimality obsahují rovněž ekonomické problémy, jako jsou maximalizace hodnoty firmy, maximalizace poptávkové funkce, atd., které lze nalézt i v učebnicích a skriptech ekonomie.

Poznámka: Význam slova “optimální” znamená již ideální stav a zde jazykové odvozeniny slova optimální, jako jsou “optimálnější” či “neoptimálnější” nemají z logického hlediska obvyklý význam lepšího stavu.

4 METODIKA ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

4.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Základními metodami logického myšlení a následně i výzkumu jsou procesy *indukce* a *dedukce*. Na začátku stojí dotaz (indukce) „Proč je to takto“? Odpovědí je hypotéza, jejíž platnost je testována dedukcí. Na tomto procesu je založen celý klasický výzkum (Emory, Cooper, 1991).

Dalšími metodami jsou *analýza* a *syntéza*. Analýza je proces faktického či myšlenkového rozčlenění celku (jevu, předmětu) na části. Je to rozbor vlastností, vztahů a faktů, postupujících od celku k částem. Syntéza je myšlenkovým procesem, kde postup směřuje od částí k celku. Umožňuje poznávat objekt jako jediný celek (Velikanič, 1976; Janíček, Ondráček, 1998).

Analogie představuje myšlenkový postup, při němž dochází k přenosu určitého znaku jednoho objektu na druhý objekt, vycházející ze zjištění příbuznosti obou objektů podle jiného znaku (Pernica, 1998; Jančarová, Rosický, 1998).

Modelování, kde model je zobrazením reálného objektu nebo systému, které umožňuje zkoumání reálného objektu (systému) tím, že vyjadřuje, charakterizuje a definuje pouze jeho účelně vybrané, podstatné vlastnosti, stránky a vztahy (Pernica, 1998).

4.2 METODY POUŽITÉ PŘI ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Při zpracování a řešení disertační práce jsou využity poznatky z analýzy domácích a zahraničních zdrojů a publikovaných případových studií; důraz je kladen zejména na typ, uspořádání a funkci logistických systémů a dále také na zdroje, zabývající se optimalizačními metodami, s aplikací do oblasti analýzy jak obecných, tak industriálních systémů.

Při návrhu upravené metodiky byla použita především metoda analogie, kdy byly přeneseny znaky metodiky původní, aplikovatelné na daný problém v omezené míře, upravené tak, aby byla aplikovatelná vhodněji.

Pro analýzu logistického toku v případové studii je vzhledem k charakteru práce, která spadá do rámce reengineeringu již existujícího systému, vybrán systémový přístup s tvorbou vhodného modelu, sloužícího jako vstup pro výpočet. Pro modely daného logistického toku je použita rovněž metoda mapování hodnotových toků (VSM).

5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU DANÉ PROBLEMATIKY

5.1 METODY ŘEŠENÍ LOGISTICKÝCH PROBLÉMŮ

Při výzkumu okolností a způsobu strategického rozhodování, který byl proveden v podnicích v ČR v druhé polovině 80. let bylo zjištěno, že 45% rozhodnutí vycházelo z intuice, 36% se opíralo o některou z analytických rozhodovacích metod, pro 11% byly podkladem expertní metody a v 8% případů se jednalo o rozhodnutí na základě diskuse. Obecně vzato, nevyskytovala se rozhodnutí, která by byla připravena pomocí exaktních metod (Truněček, 1997).

Analogickou situaci lze ale najít například i ve firmách v Polsku. Na základě studie (Kisperska, Moron, 2003) mají logističtí manažeři obdobný profil a úroveň znalostí jako jejich kolegové z ČR a jejich rozhodnutí jsou obdobně založena více na zkušenostech, než na použití expertních metod.

V logistice se používají dvě skupiny metod (Svoboda, 1998). Jedná se o:

- metody pro podporu programů a obchodní logistické nabídky
- metody pro podporu rozhodování

5.1.1 Metody pro podporu programů a obchodní logistické nabídky

Tyto metody spadají do oblasti marketingu, který je v logistice chápán především jako manažerský systém, který vychází ze způsobů myšlení a pojmání úlohy trhu jako základního faktoru rozvoje podniku.

Marketingové řízení pak vychází ze čtyř druhů marketingových činností:

- marketingových průzkumů – zjišťování potřeb trhu, tedy problémů odběratelů, v krátkém (taktické průzkumy) i dlouhém (strategické průzkumy) časovém období. Při průzkumech jsou využity metody matematické statistiky (vyhodnocování údajů ze statistických a účetních výkazů), pozorování (pomocí sítě prodejců, řidičů, atd.), písemného dotazování (ankety), ústního dotazování (ankety prováděné specialisty) a metod výběrového šetření (výzkum trhu na základě vybraného souboru otázek nebo vzorků výrobků, jejichž četnost podléhá zákonu velkých čísel, v závislosti na přípustné chybě).
- marketingových nabídek – tyto vycházejí ze závěrů marketingového průzkumu, který utřídil skupiny problémů, které může řešit výrobní nebo obchodní organizace.
- marketingových kontraktů – k těmto dochází, pokud marketingová nabídka splňuje potřeby zákazníka po stránce kvality i po stránce ceny.
- marketingového plánování – jako nedílná součást marketingového managementu jako odpovědný přístup k podnikání. Vyznačuje se především ujasněnou podnikovou strategií, koncepcí, návazností krátkodobých a dlouhodobých opatření a tvořivostí. Plány dlouhodobé (na 3-5 let) obsahují prognózu potřeb trhu, koncepci výroby nebo rozvoje služeb, výzkum a

vývoj inovace a koncepci investiční výstavby. Plány krátkodobé (na 1 rok) zahrnují plán výroby, náklady, tržby, zisk, způsob řízení zásob a celkovou taktiku podniku na trhu.

5.1.2 Metody pro podporu rozhodování

Do rozsahu tématu této práce spadají především metody patřící do této skupiny. Metody jsou detailněji roztrženy a popsány dále v této kapitole. Rozhodování je proces, ve kterém (řídící) pracovník řeší situaci, jejímž výsledkem je určitá změna stavu. Rozhodnutím může být buď přijetí nebo zamítnutí jedné předložené varianty, nebo výběr z mnoha variant řešení, která mohou být pozitivistická, nebo negační.

Obecně lze říci, že existují tři přístupy, jak řešit logistické problémy (Svoboda, 1998; Pernica, 2005):

1. *Empiricko-intuitivní přístup*, založený na subjektivním přístupu osoby, řešící daný problém. Je obtížné znovu opakovat kroky vedoucí k řešení, vzhledem k jejich nedostatečnému zdokumentování. Přes tyto nevýhody je tento přístup v praxi nejčastěji využíván (viz výše).
2. *Algoritmický přístup*, založený na exaktních (především matematických) metodách. Hlavní charakteristikami tohoto přístupu jsou: formalizace úlohy a kvantitativní vyjádření, umožněné konstruováním modelů, které jsou přesné a objektivní s jednoznačným postupem, vedoucím k výsledku. Tento výsledek je transparentní a ověřitelný.
3. *Heuristický přístup*, založený na hledání postupů a metod pro řešení nových a neznámých problémů. Jako základ je použit algoritmický přístup, doplněný o nové logické, nedeterministické kroky řešení. Druhým znakem je vědomá integrace intuitivních a exaktních metod. Zde může figurovat například intuitivní formulace variant řešení s následným propracováním a ověřením exaktními postupy a metodami, především simulacemi (modelovým experimentem) s výběrem nejlepší varianty.

5.1.3 Výběr metody

Zde opět existuje více přístupů, jak přistupovat k výběru metod, na základní úrovni přístupu k problému. Jedna úroveň je *na základě druhu rozhodování*, druhá je založena *na základě typu problému*, resp. *na základě fáze řešení*.

1. Výběr metody dle **druhu rozhodování** je dále rozdělen na:
 - *Rozhodování za určitosti (za jistoty)* – kdy je každému procesu rozhodování přiřazen podle předem přijatého pravidla právě jediný výsledek. Rozhodování za určitosti znamená vždy řešení deterministicky popsané úlohy. Používají se deterministické, exaktní metody, spojené s algoritmickým přístupem, především metody operačního výzkumu, metody matematicko – statistické, především metody založené na modelování.

- *Rozhodování za rizika* – znamená, že každé variantě řešení rozhodovací úlohy je přiřazena pravděpodobnost výsledků, respektive pravděpodobnost (riziko) neúspěchu při volbě varianty. Znamená to, že ten, kdo rozhoduje, často nebude volit optimální řešení v případě, že je výsledek málo pravděpodobný, respektive je vysoká míra rizika neúspěchu volené varianty.
- *Rozhodování za neurčitosti* – vytváří situaci volby z řady variant, ale rozložení pravděpodobnosti výsledku není známé. Je typické v případě nových, dosud neřešených problémů. Zde se přistupuje k použití stochastických metod, spojených s heuristickým přístupem, eventuálně na intuitivní rozhodování.

2. Rozhodování založené na typu problému, resp. na fázi řešení

V případě analýzy procesů, jejich modelování a optimálního navrhování lze vybrat z matematicko-statistických metod, analýzy shluků, operačního výzkumu, teorie grafů, systémové analýzy, systémového inženýrství, apod., s důrazem na metody modelování. Ve fázi řízení a vyhodnocování procesů lze použít metody nákladových propočtů, analýzy užitku a další – tj. je zřejmé, že metodická orientace je jiná ve fázi zavádění než ve fázi rutinního provozu logistického systému, viz tabulka 1.

S oběma přístupy se lze setkat v odborné literatuře o logistice. Jejich společnou nevýhodou je, že nerozlišují mezi systémovou úrovní, na niž je řešení požadováno. Pokud máme totiž uvažovat o metodách, musí nám být jasné, do které ze dvou uvedených, historickým vývojem vzniklých systémových poloh problém náleží.

- *V první poloze (minulost)* se jednalo o relativně jednoduché úkoly, jako byla alokace výrobků do skladů, rozvoz výrobků při dosahování minimálních nákladů a kapacitní propočty. K tomuto postačoval systematický přístup: sběr informací – zpracování výsledků – vyhodnocení (prezentace).
- *Ve druhé poloze (současnost a budoucnost)* existují složitější, mnoho-vrstevné a mnoho-vazebné problémy, jejichž řešení vyžaduje systémový přístup. Jedná se o modelové experimenty a simulace s větším počtem variant, které mají výrazně prognostický charakter a slouží k přípravě strategických rozhodnutí. Řešené úkoly sledují dosažení synergického efektu, což znamená mimo jiné vyloučení dílčích optimalizací. Přehled obou systémových poloh je patrný také z tabulky 5.1.

FÁZE	PŘÍSTUP	METODY	VÝSLEDEK
Zpracování strategického konceptu logistického systému podniku s určenými hranicemi	Prognostický	Prognostické, příp. benchmarking	Zvážení možných, alternativ a variant cílů a cest k nim vedoucím, formulace základních variant logistického

podle stanovených strategických podnikových cílů			systemu
Navržení a vyprojektování logistického systému podniku – zpracování technického plánu	Systemový	Systemově orientované metody (metody systémového modelování)	Modely struktur a variant chování budoucího logistického systému (multisystému). Modelové experimenty - simulace odpovídající na otázky typu „co se stane, když“ a výběr nejlepší varianty systému
	Systematický	Dílčí metody pro rozmisťování, pro určování kapacit, ploch, počtů technických prostředků a pracovníků, pro výpočty potřeb času a nákladů	Detailní řešení zvolené varianty (článků logistických řetězců)
Realizace logistického systému podniku	Systematický	Metody pro sladění činností	Fyzická realizace zvolené varianty systému v propočtených parametrech
Rutinní provoz	Kombinovaný	Controlling	Průběžné udržování chování systému v přijatelných mezích (v dynamickém rovnovážném stavu) a reprodukce struktury systému podle stanovených strategických a taktických cílů

Tabulka 5.1. Metodická orientace, (Pernica, 1998)

5.1.4 Metody algoritmického přístupu (metody exaktní)

Metody matematické statistiky

Metody matematické statistiky se využívají ve formě statistické analýzy pro diagnózu řídicích systémů; analýzy časových řad nebo analýzy kauzálních vazeb mezi ekonomickými, provozními, nebo kvalitativními ukazateli. Výsledkem této analýzy je zjištění trendů – žádoucí nebo nežádoucí a dále zjištění, jaké následné změny vyvolá změna trendu na kauzálních řetězcích.

Druhá oblast použití matematické statistiky je v různých formách matematického modelování. Matematicko – statistický model se zabývá získáváním a zpracováním údajů s cílem nalézt zákonitosti náhodných hromadných jevů – například nalezení míry závislosti dvou nebo více náhodných hromadných jevů, odhady neznámého rozložení pravděpodobnosti, statistické ověřování hypotéz, atd.

Metody operační analýzy

Pod obecný pojem operační analýzy (též operačního výzkumu – operation research) spadá souhrn metod, které pomocí matematických disciplín modelují určité stavy procesů technologických či rozhodovacích. V oblasti operační analýzy se uplatňují zejména metody matematické pravděpodobnosti, teorie grafů, matematické analýzy, analytické geometrie, matematické ekonomiky a matematického modelování. Modely lze ještě rozdělit z hlediska probíhajícího děje na *deterministické* s dějem možným popsat algoritmem a *stochastické*, tj. s dějem náhodným a také z hlediska formy zpracování (simulační – analytické – grafické – graficko-analytické).

Z hlediska použitého matematického aparátu lze metody operační analýzy rozčlenit do čtyř skupin (Svoboda, 1998):

- *metody simulačního modelování* – jsou charakteristické tím, že pomocí algoritmu, který s dostatečnou přesností popisuje děje, nebo procesy, zobrazující určitý systém nebo práci určitého systému v dosti dlouhém časovém období. Jsou obvykle značně složité a jejich řešení nemyslitelné bez použití výpočetní techniky.
- *metody matematického (analytického) modelování* – pomocí matematického algoritmu popisují buď jednoznačně nebo s určitou mírou nejistoty systém, proces, nebo fyzikální děj. Jejich použití je jednorázové. Z matematických disciplín jsou využity teorie hromadné obsluhy (teorie front) a teorie zásob.
- *metody teorie grafů* – jsou častou metodou zobrazující dopravní systémy. Nejčastěji se používají k řešení úloh optimalizace cesty v síti (viz síťová analýza), stanovení optimálních toků v sítích pro optimalizaci dopravní obsluhy na základě zvoleného optimalizačního kritéria na definované dopravní síti, nebo pro řešení alokačního problému (optimalizace skladovacích vůči výrobním systémům).

- *metody matematicko – ekonomické optimalizace* – tyto využívají především lineárního a dynamického programování na základě zvolených optimalizačních kritérií. Používají se v oblasti optimalizace rozhodovacích procesů zejména pro úlohy optimalizace dodávek zboží jednoho sortimentu mezi producenty a odběrateli, optimální rozložení dopravních proudů na vymezené dopravní síti (řešeno jako vícekritériální optimalizace).

5.1.5 Metody heuristického přístupu

Pojem „heuristika“ ve svém původním významu znamená „řešení problémů neobvyklým způsobem“. Je současně i názvem vědní disciplíny, která se zabývá komplexními problémy tvůrčího myšlení. Jak již bylo uvedeno, heuristické metody se využívají tam, kde systém nelze popsat matematickým algoritmem, anebo v případě, kdy systém sice lze popsat matematickým algoritmem, ale řešení takového algoritmu je obtížné a časově náročné.

Expertní systémy

Expertní systémy jsou systémy, využívající možností paměťové kapacity výpočetní techniky, její rychlosti při zpracování informací a možností určité algoritmizace procesů, které jsou schopny vytvářet určitý předstupěň umělé inteligence. Zkušenosti experta, získané studiem a zkušenostmi, lze formálně rozdělit na složku formální (zapamatovaná fakta) a složku heuristickou, která odpovídá určitým postupům experta, využívanou intuitivně.

Expertní systémy umožňují určitým způsobem tyto znalosti experta převzít tak, aby je program mohl využívat obdobným systémem jako expert. Expertní systémy jsou provedeny jako počítačové programy, jejichž funkce má podobu dialogu experta s klientem (Rais, 2005).

Metody tvořivého myšlení

Principem procesu tvořivého myšlení je výběr, přetváření a spojování prvků předcházejících zkušeností. Dnes je již zřejmé, že tvořivý potenciál organizací je často důležitější, než ostatní zdroje (finanční, materiálové, atd.). Tvořivost je možné (a také nutné) vhodným řízením usměrňovat a podporovat. Při řešení problémů v nejobecnější podobě lze vysledovat dvě fáze: tvorbu myšlenek a hodnocení myšlenek. Tyto fáze obvykle následují hned za sebou, někdy fázi hodnocení odsuneme na později. Metody tvořivého myšlení, postavené na základech psychologie, sociologie a poznatků zaměřených výzkumů kreativity využívají především týmové skupinové práce.

Mezi konkrétní metody patří Brainstorming, Brainwriting, Synektika, Delfská metoda, Morfologická analýza, atd. (viz Svoboda, 1998; Pernica, 2005).

Heuristické algoritmy

Heuristické algoritmy se začaly používat s rozvojem výpočetní techniky; jak již bylo uvedeno výše, používají se v případech, kdy systém sice lze popsat matematickým algoritmem, ale řešení takového algoritmu je obtížné a časově náročné. Těmto algoritmům bude věnována detailní pozornost dále v této kapitole, kde jsou aplikovány na problematiku rozvrhování.

Prognostické metody

Prognostický přístup je druh vědeckého přístupu, který je specifický ve zdůrazňování dvojznačnosti, alternativ, variací a možností dalšího vývoje budoucích událostí. Obsahuje nejen přesný vědecký proces, ale rovněž intuici a nesystematické informace. Hlavní částí prognózování je vytváření prognóz, na které ještě navazují další kroky. Jejich pořadí je od analýzy vývoje problému a formulace prognostických úloh, přes organizaci prognózování, výzkum prognóz a transfer prognóz do reality. Cílem prognózování je nastavení hranice mezi reálnem a nereálnem, nalezení trendů ve vývoji (pokud existují), definice variantních cest a nástroje, vedoucí k požadované budoucí alternativě.

Existují tři základní přístupy k prognózování:

- *Explorativní* (ze známých tendencí k budoucímu vývoji)
- *Normativní* (založený na daných cílech při hledání cesty, jak jich dosáhnout)
- *Integrální* (spojující předchozí dva a vytvářející prognózu, včetně potřeb a možností)

Jak již bylo uvedeno, vytváření prognóz je klíčovým bodem prognostické činnosti. Je definováno jako metoda řešení problematických situací, spojených se systematickým budoucím výzkumem a vědeckými deklaracními formulacemi. Prognózy mají svá měřítka, jako jsou pravděpodobnost (nejpravděpodobnější interval – dle statistických metod), spolehlivost (nejlepší prognóza je, pokud je možné zadat důvody jejich očekávané realizace) a ověření (přímo: pomocí více metod a porovnáním výsledků, resp. nepřímo: porovnáním s technickou literaturou, atd.)

Benchmarking

Benchmarking je systematické porovnání vlastního podniku s nejlepšími podniky ve stejném oboru, případně jiných oborech (externí benchmarking); respektive systematické porovnání jednotlivých závodů, větví, oddělení, distribučních center, nebo skladů shodného podniku (interní benchmarking).

Stručný postup obsahuje sedm kroků provedení studie benchmarkingu:

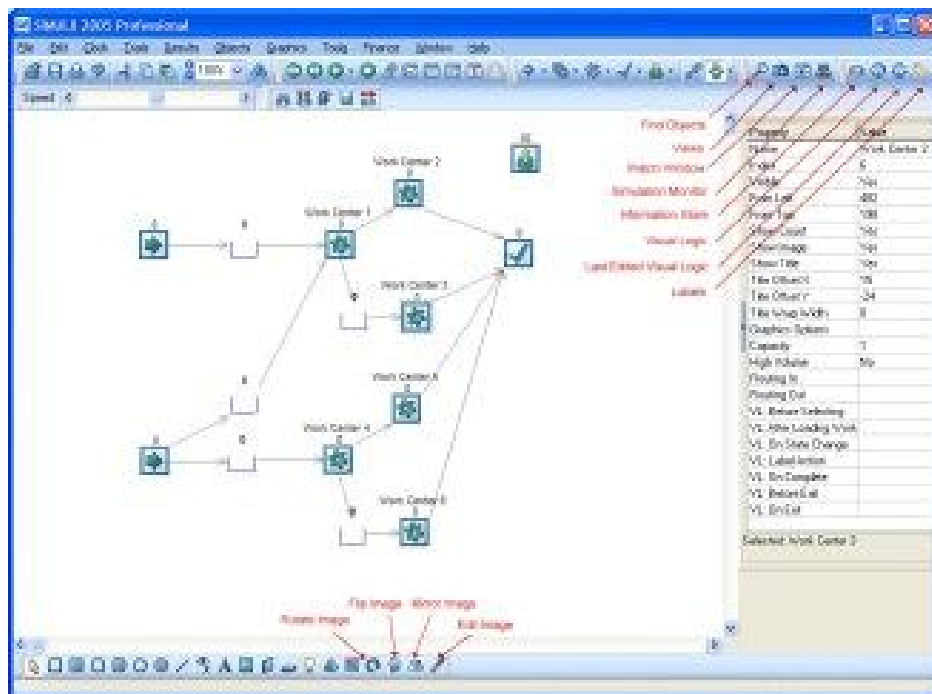
1. Výběr kritérií či charakteristik, které mají být porovnány
2. Interní analýza – analýza interních dat s cílem výběru dat k porovnání, či k případné úpravě kritérií
3. Výběr podniků – ne přímé konkurenty, ale ty nejlepší firmy v oboru
4. Získání dat z podniků – je třeba získat kompletní data k příslušným charakteristikám, plus data o nejlepších praktikách od zákazníků, expertů a veřejných zdrojů
5. Analýza dat a jejich interpretace – důraz je dán na „odstup“ mezi firmami, plus hledání důvodů této odlišnosti.
6. Definice cílů – které vycházejí z „odstupu“ mezi podniky; cíle mají být takové, aby byly vyšší než u srovnávaného podniku. Pokud je možné po aplikaci opatření vypořádat a analyzovat zlepšení, je vhodné změnit podnikové standardy; cíle benchmarkingu nejsou statické, ale stále rostou.

5.1.6 Možnosti aplikace softwarových prostředků

Pro profesionální aplikaci v oblasti výroby a logistiky se pro podporu rozhodování ve firmách používají komerční softwarové produkty, jejichž optimalizační „engine“ je založen na některé z již uvedených heuristických metod. Jsou to de facto uživatelsky přívětivá („*user friendly*“) prostředí, nabízející modelování a optimalizaci procesů pomocí ikon a objektů v prostředí, na které jsou uživatelé zvyklí, konkrétně na bázi Microsoft Windows. Dále uvádím stručnou charakteristiku dvou nejznámějších softwarových balíčků, Simul8 a Witness.

Software „Simul8“

Softwarový balík SIMUL8 nabízí uživatelsky přívětivé, integrované prostředí umožňující snadnou a rychlou práci s modely pro dynamickou diskrétní simulaci procesů. Pomocí programu SIMUL8 snadno vytvoříte přesné, flexibilní a robustní simulace podnikových, výrobních nebo logistických procesů či systémů ve velmi krátkém čase. Program SIMUL8 je produktem americké firmy [Simul8 Corporation](http://www.simul8.cz).



Obr. 5.1 - Prostředí softwarového balíku SIMUL8 (zdroj: www.simul8.cz)

SIMUL8 je možné použít například pro simulaci:

- výrobních systémů, například:
 - modely montážních linek
 - modely materiálových toků ve výrobě
- logistických systémů
 - modely manipulace materiálu mezi skladem, výrobou a expedicí
 - modely skladových expedičních systémů

- modely dopravní obsluhy distribučních center
- administrativních operací
 - model zpracování přijatých objednávek
- systémů obsluhy zákazníků nebo poskytování služeb.
 - modely obsluhy klientů na bankovních přepážkách
 - modely obsluhy volajících klientů v call-centrech
 - modely obsluhy zákazníků u pokladen v supermarketu

Práce s programem SIMUL8

Silnou stránkou simulačního nástroje SIMUL8 je jeho uživatelské rozhraní, díky kterému lze realizovat simulační projekt rychleji a snadněji, než v kterémkoli jiném simulačním softwaru. Práce se softwarem SIMUL8 nespočívá v programování. Jeho podstata spočívá spíše v načrtnutí struktury, organizace nebo toků reálného systému pomocí vhodného propojení různých simulačních objektů (jakýchsi stavebních kamenů modelu) a následné nastavení správných parametrů použitých simulačních objektů.

Program SIMUL8 je dodáván ve dvou variantách:

SIMUL8 Standard

SIMUL8 Standard je integrované, uživatelsky přívětivé prostředí pro práci se simulačními modely. Pomocí SIMUL8 lze snadno vytvořit přesné, flexibilní a robustní simulace ve velmi krátkém čase.

SIMUL8 Professional

SIMUL8 Professional rozšiřuje funkce SIMUL8 Standard a přidává další nástroje, například:

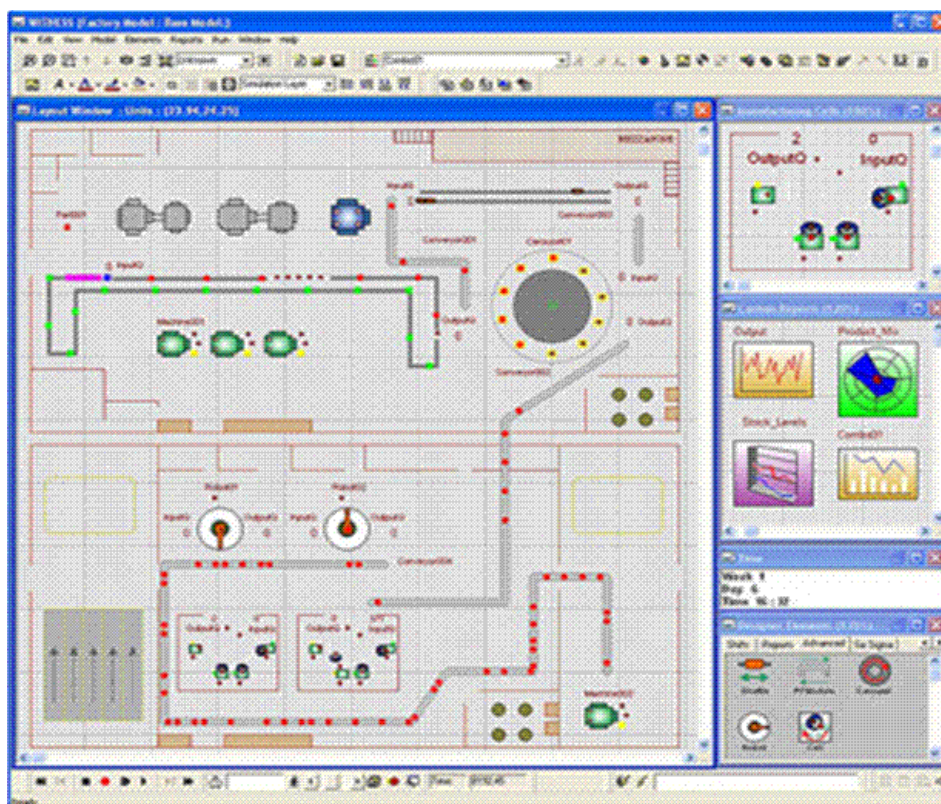
- modul pro statistickou analýzu *Stat:Fit* (umožňuje statistické zpracování naměřených dat pro jejich snadné a rychlé využití v modelu)
- optimalizační modul *OptQuest* (nástroj pro hledání optimálních řešení, principiálně do jisté míry podobný nástrojům pro hledání řešení v tabulkových procesorech).
- *Virtual Reality* (nástroj pro vizualizaci simulace v realistickém 3D prostředí)
- funkce pro *ABC casting*.

Softwarový balík “Witness”

Prediktivní technologie a simulační metody poutají stále více pozornosti odborníků v mnoha oblastech. Zachování konkurenční schopnosti a zvyšování úrovně poskytovaných služeb vyžaduje od organizací neustálé změny. V podmínkách přísného sledování nákladů je potřebné ověřovat možnosti plánovaných systémů a nacházet inovativní a úspěšná řešení. Požadavek na změnu technologických či organizačních procesů však s sebou přináší jisté riziko. Program WITNESS pomáhá toto riziko omezit tím, že umožňuje modelovat pracovní prostředí a simulovat důsledky různých rozhodnutí. Výsledkem je větší míra důvěry, že navržené řešení je pro organizaci to správné - ještě předtím, než je přistoupeno k jeho realizaci. Mezi podniky světové třídy není snad žádný, který by nevyužíval prediktivní technologie jako standardní nástroj řízení.

WITNESS existuje ve dvou oborových verzích - pro oblast výroby a logistiky je určena verze "Manufacturing Performance Edition", pro oblast služeb je to verze "Service and Process Performance Edition".

Jádro systému WITNESS doplňují moduly pro optimalizaci procesů, návrh a vyhodnocení experimentů, prezentaci výsledků simulace, zobrazení v prostředí virtuální reality, výměnu informací mezi nástroji WITNESS a Microsoft VISIO, propojení s CAD/CAM systémy, dokumentaci modelů a získávání znalostí z rozsáhlých souborů dat.



Obr. 5.2 - Prostředí softwarového balíku Witness (zdroj: <http://www.humusoft.cz>)

5.2 PROBLEMATIKA ROZVRHOVÁNÍ

Ve výrobním podniku, kterého se tato práce týká, spadá do středu zájmu o optimalizaci především oblast výroby. Tato problematika je v odborných zdrojích (viz níže) převáděna na řešení problémů rozvrhování, což znamená nalezení vhodného (optimálního) přiřazení úkolů (zde pracovních úloh a jejich technologických operací) zdrojům (zde strojům) v čase. Úlohy rozvrhování řadíme do třídy kombinatorických problémů. To znamená problémy, ve kterých existují diskrétní proměnné a jejichž množina přípustných řešení je konečná.

Často uváděným příkladem kombinatorického problému (dodnes jsou publikovány nové způsoby a variace řešení tohoto problému) je úloha obchodního cestujícího (TSP - traveling salesman problem). Je definována takto: je dáno n měst. Všechna (nebo jen některá) města jsou propojena dopravními cestami a doba trvání cesty mezi jednotlivými městy je známá. Úkolem obchodního cestujícího je navštívit každé město právě jednou (příp. minimálně jednou) a vrátit se do výchozího města. Úkolem je nalézt takové pořadí (permutaci) měst, aby doba trvání celkové

cesty byla co nejmenší. Přes svou jednoduchou formulaci je TSP velmi obtížně řešitelný. Jeho složitost se stává zřejmou v okamžiku, kdy zvážíme počet možných řešení (tj. počet možných pořadí návštěv jednotlivých měst), což je „astronomické“ číslo i pro relativně malý počet měst. Pro problém, kde $n = 20$ měst, existuje takových cest $(n-1)!/2 = 6.08$ krát 1016. To znamená, pokud bychom chtěli řešit tento problém prostým procházením celého tohoto prostoru řešení, např. pomocí počítače, který vypočte 1 000 000 možných řešení za sekundu, trval by výpočet několik tisíc roků.

Náročnost na výpočetní čas $O(g(n))$ algoritmu pro řešení problému o rozsahu n udává horní mez počtu $g(n)$ elementárních operací (na hypotetickém počítači), které jsou pro vyřešení problému tímto algoritmem potřeba.

Algoritmus označíme jako polynomiální, jestliže jeho náročnost na výpočetní čas je $O(nk)$, pro nějakou konstantu k . Jestliže algoritmus označíme jako exponenciální, znamená to, že jeho náročnost na výpočetní čas není polynomiální. Příkladem jsou algoritmy s náročností na výpočetní čas $O(n!)$, $O(2n)$ atd.

Obecná teorie algoritmů (viz French, 1986 a Plesník, 1983) rozlišuje dvě třídy problémů: polynomiální P (polynomial) a nedeterministicky polynomiální NP (non-deterministic polynomial). Do třídy „ P “ patří problémy, pro jejichž řešení jsou algoritmy známy. Ostatní problémy s exponenciální složitostí patří do třídy NP .

Lze říci, že třída problémů NP je množina problémů, pro které polynomiální algoritmy mají být teprve nalezeny. I problém, patřící do třídy P , můžeme řešit algoritmem s nepolynomiální náročností na výpočetní čas, ale takové řešení je neefektivní, protože zabere vzhledem k rozsahu problému exponenciálně dlouhou dobu. Výjimečně může být problém ze třídy NP přeřazen do třídy P , pokud se někomu podaří objevit polynomiální algoritmus k jeho řešení.

Nicméně stále existují problémy, o kterých mnoho moderních matematiků předpokládá, že pro jejich řešení nikdy nebudou polynomiální algoritmy nalezeny, protože tyto problémy jsou příliš složité. Do této kategorie patří i problémy rozvrhování.

Definujme problém $Q1$ se vstupními daty $D1$. Problém $Q1$ můžeme řešit i tak, že ho přetransformujeme na nějaký jiný problém $Q2$, tj. data $D1$ přetransformujeme na data $D2$ odpovídající problému $Q2$. Jestliže řešení $R2$ problému $Q2$ dokážeme přetransformovat na řešení $R1$ problému $Q1$, pak transformace je ukončena. Jestliže přitom přetransformování dat $D1$ na data $D2$ a řešení $R2$ na $R1$ vyžaduje pouze polynomiálně mnoho elementárních operací vzhledem k rozsahu dat $D1$, pak uvedená transformace se nazývá polynomiální.

Jestliže existuje problém Q takový, že jiný problém třídy NP je polynomiálně transformovatelný na Q , řekneme, že Q je NP -těžký (NP -hard) problém. Jestliže navíc problém Q sám patří do třídy NP , pak řekneme, že Q je NP -úplný (NP -complete) problém.

Klasickými metodami, (např. dynamickým programováním nebo metodou větví a mezí) které zaručují nalezení optimálního řešení, tedy lze řešit problémy rozvrhování pouze do omezeného rozsahu, daného omezeným výkonem výpočetní techniky. Na rozsáhlejší úlohy je nutné použít

některou z heuristických metod. Nejznámějšími heuristickými metodami jsou *simulované žíhání*, *zakázané prohledávání* a *genetické algoritmy* (Kvasnička a kol., 2000; Reeves, 2000).

5.2.1 Rozvrhování hromadné výroby (flow shop scheduling)

Základními pojmy teorie rozvrhů, jak byly definovány již na počátcích této vědní disciplíny (Conway a kol., 1967), jsou stroj, operace a úloha:

- *Operace* (operation) je základní technologický úkon, který už dále není dělitelný na částečné technologické úkony.
- *Úloha* (job) je posloupnost operací, které je potřeba vykonat v rámci jedné zakázky.
- *Stroj* (machine) je zařízení schopné vykonávat jednu nebo několik operací.

Problém rozvrhování hromadné výroby (*flow shop scheduling*); (Baker, 1993; Šeda, Dvořák, 1998) je charakterizován množinou úloh $J = \{J_1, \dots, J_n\}$ a množinou strojů $M = \{M_1, \dots, M_m\}$. Všechny n úloh musí být vykonáno na m strojích při dodržení následujících podmínek:

1. Každá úloha je složena z m operací, které musejí být vykonány na m různých strojích.
2. Všechny úlohy provádějí své operace na strojích ve stejném pořadí strojů (stroje jsou řazeny sériově).
3. Na každém stroji může být v jednom okamžiku vykonávána nejvýše jedna operace jedné úlohy.
4. Operace nemohou být přerušeny.
5. Mezi operacemi různých úloh není precedenční omezení.
6. Obvykle se k uvedeným pěti podmínkám přidává šestá: Pořadí úloh je na každém stroji stejné. V takovém případě hovoříme o tzv. permutačním rozvrhování proudové výroby (*permutation flow shop scheduling*).

V obecném (nepermutačním) problému rozvrhování proudové výroby nemusí být poslední podmínka splněna. V tom případě je dovoleno, aby pořadí úloh bylo na každém stroji různé. Příklad zadání permutačního problému rozvrhování proudové výroby pro 3 úlohy a 3 stroje vidíme v tabulce 5.2.

úloha	Operace					
	1		2		3	
	stroj	doba	stroj	doba	stroj	doba
J1	M1	2	M2	4	M3	3
J2	M1	3	M2	3	M3	2
J3	M1	5	M2	4	M3	3

Tabulka 5.2: Příklad zadání problému proudové výroby pro $n = 3$ úlohy a $m = 3$ stroje (vlastní zpracování)

Úkolem je najít takové pořadí (permutaci) úloh, které minimalizuje trvání výrobního procesu, případně které zajistí dokončení úloh v požadovaných termínech, jsou-li zadány. Nyní předpokládejme (v souladu s Conway a kol., 1967 a Šeda, Dvořák, 1998) následující označení: π -

permutace úloh, $\pi(i)$ - i -tá úloha v permutaci úloh, p_{ik} - doba trvání operace i -té úlohy na k -tém stroji, F_{ik} - termín dokončení operace i -té úlohy na k -tém stroji. Jestliže je dána permutace úloh π , pak jsou termíny dokončení $F_{\pi(i),k}$ určeny následovně:

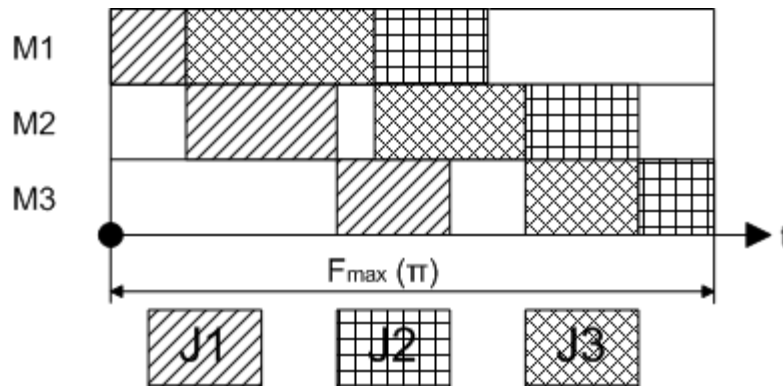
$$F_{\pi(1),1} = p_{\pi(1),1} \quad (5.1)$$

$$F_{\pi(i),1} = F_{\pi(i-1),1} + p_{\pi(i),1} \quad i = 2, \dots, n \quad (5.2)$$

$$F_{\pi(1),k} = F_{\pi(1),k-1} + p_{\pi(1),k} \quad k = 2, \dots, m \quad (5.3)$$

$$F_{\pi(i),k} = \max\{F_{\pi(i-1),k}, F_{\pi(i),k-1}\} + p_{\pi(i),k} \quad i = 2, \dots, n; k = 2, \dots, m \quad (5.4)$$

Ukázka rozvrhu pro $n = 3$ úlohy a $m = 3$ stroje podle permutace úloh $\pi = (1,3,2)$ je na obrázku 5.3:



Obrázek 5.3: Příklad rozvrhu hromadné výroby; (vlastní zpracování)

V permutačním problému rozvrhování proudové výroby je řešení reprezentováno pouze pořadím π (permutací) všech úloh. V tomto případě je každé řešení proveditelné a nazývá se rozvrh (*schedule*). Cílem je nalezení takového rozvrhu π , pro který je hodnota účelové funkce optimální. Nejčastěji se používá kritérium $F_{\max}$ (označované termínem *maximum flow-time*) definované jako rozsah trvání všech úloh (doba potřebná k provedení všech úloh):

$$\text{Minimalizovat } F_{\max} = F_{\pi(n),m} \quad (5.5)$$

5.2.2 Rozvrhování zakázkové výroby (job shop scheduling)

V klasické podobě byl problém rozvrhování zakázkové výroby (*job shop scheduling*) popsán v (Conway a kol., 1967; Cheng a kol., 1996; Nowicki a Smutnicki, 1996; Yamada a Nakano, 1995; Blazewicz, 2002):

Jsou zadány tři konečné množiny: množina úloh $J = \{J_1, \dots, J_n\}$, množina strojů $M = \{M_1, \dots, M_m\}$ a množina operací $O = \{o_1, \dots, o_N\}$. Každá úloha se skládá z určitého, obecně nestejného, počtu operací. Množina O je množina všech operací všech úloh. Doba trvání k -té operace je p_k . Pro provedení každé operace je zapotřebí jednoznačně přiřazený stroj z množiny M . Je potřeba vykonat všechny úlohy při splnění následujících omezení:

1. Pořadí operací u každé úlohy je dáno technologickým postupem a nelze je měnit.
2. Na jednom stroji lze současně provádět nejvýše jednu operaci jedné úlohy.
3. Provádění operace nelze přerušit.
4. Mezi operacemi různých úloh není precedenční omezení, to znamená, že pro žádnou dvojici operací z různých úloh není předepsáno pořadí provádění.

Příklad zadání problému rozvrhování zakázkové výroby pro 3 úlohy a 3 stroje je zobrazen v tabulce 5.3. Úloha $J1$ obsahuje tři po sobě jdoucí operace $o1$, $o2$ a $o3$, úloha $J2$ se skládá ze dvou operací $o4$ a $o5$ a úloha $J3$ obsahuje tři operace $o6$, $o7$ a $o8$.

Úloha	Operace								
	č.	stroj	doba	č.	stroj	doba	č.	stroj	doba
J1	o1	M1	3	o2	M2	4	o3	M3	3
J2	o4	M1	3	o5	M3	4			
J3	o6	M2	5	o7	M1	3	o8	M3	3

Tabulka 5.3: Příklad zadání problému zakázkové výroby pro $n = 3$ úlohy a $m = 3$ stroje (vlastní zpracování)

Úkolem je najít takové pořadí (permutaci) úloh, které minimalizuje trvání výrobního procesu, případně zajistí dokončení úloh v požadovaných termínech, jsou-li zadány. Použijme následující označení:

n počet úloh

n_i počet operací v úloze i ; operace mají indexy $N_{i-1} + 1, \dots, N_i$,

kde $N_0 = 0$, $N_i = \sum_{l=1}^i n_l$, $i = 1, \dots, n$

N celkový počet operací

m počet strojů

O^k množina operací přiřazených stroji k

p_j doba provádění operace j

t_j nejdříve možný termín začátku zpracování operace j

F_j nejdříve možný termín dokončení zpracování operace j

T horní mez celkové doby trvání všech úloh

$F_{\max}$ celková doba trvání všech úloh (čas dokončení poslední operace)

$x_{j,l}$ proměnná popisující precedenční vztah mezi operacemi $j, l \in O^k$

$x_{j,l} = 1$ operace j se provede před operací l

$x_{j,l} = 0$ operace l se provede před operací j

Problém optimalizace výrobního rozvrhu lze formulovat takto (Conway a kol., 1967):

$$\text{Minimalizovat } F_{\max} \quad (5.6)$$

za podmínek:

$$F_{\max} \geq t_{N_i} + p_{N_i} \quad \text{pro } i = 1, \dots, n \quad (5.7)$$

$$t_j \geq t_{j-1} + p_{j-1} \quad \text{pro } i = 1, \dots, n; j = N_{i-1} + 2, \dots, N_i; \quad (5.8)$$

$$t_l \geq t_j + p_j x_{j,l} - T(1 - x_{j,l}) \quad \text{pro } j, l \in O^k, k = 1, \dots, m \quad (5.9)$$

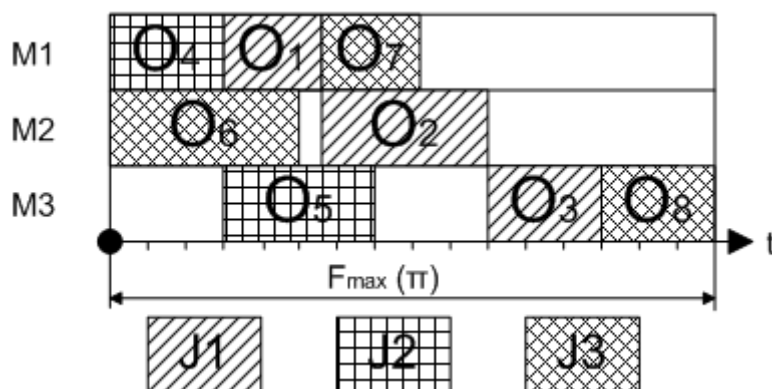
$$t_j \geq t_l + p_l(1 - x_{j,l}) - T x_{j,l} \quad (5.10)$$

$$x_{j,l} \in \{0,1\} \quad \text{pro } k = 1, \dots, m; j, l \in O^k \quad (5.11)$$

$$F_{\max} \geq 0, t_j \geq 0 \quad \text{pro } j = 1, \dots, N \quad (5.12)$$

Podmínka (5.8) zajišťuje, že operace v každé úloze jsou zpracovávány v určeném pořadí. Omezení (5.9) a (5.10) určují, že v určitém čase může být na jednom stroji zpracovávána jen jedna operace. Jakékoliv řešení, vyhovující podmínkám (5.7) až (5.12) je proveditelné a odpovídá jednomu rozvrhu.

Příkladem rozvrhu pro problém zadaný hodnotami v tabulce 5.3 může být rozvrh $\pi = \{(4,1,7), (6,2), (5,3,8)\}$, kde jednotlivé seznamy operací v kulatých závorkách představují pořadí operací na jednotlivých strojích. Tento rozvrh vidíme zakreslený pomocí Ganttova diagramu na obrázku 5.4.



Obrázek 5.4: Příklad rozvrhu zakázkové výroby, (vlastní zpracování)

Při rozvrhování ve skutečné výrobě mohou být sledovány i jiné cíle, např. minimalizace ztrát spojených s nesplněním prací v požadovaných termínech, minimalizace prostojů, minimalizace rozpracované výroby, atd. Pro optimalizaci se používají většinou heuristické metody ve spojení s vhodnou reprezentací dat.

5.3 METODY ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ROZVRHOVÁNÍ

Součástí problémů rozvrhování je vždy požadavek na optimalizaci nějaké účelové funkce, která závisí na sekvencích jednotlivých operací na strojích. Jedná se o NP-těžké úlohy (French, 1986; Plesník, 1983). K jejich řešení je možné použít přesné metody (např. metodu větví a mezí), ale tyto metody přestávají být od určitého rozsahu problému efektivní, proto je nutné používat heuristické metody. Obecně jsou všechny metody popsány například ve (Kvasnička a kol., 2000; Reeves, 2000; Özelkan, Duckstein, 1999) a na deterministický problém rozvrhování výroby jsou aplikovány např. v (Silva a kol., 2008; Xu a kol., 2006; Shimizu a kol., 2006). Přehled používaných metod k řešení problémů rozvrhování je uveden v (Silva a kol., 2005).

Popis následujících metod vztahujeme na řešení následujícího problému: Je dána konečná množina X přípustných řešení a kritérium $f : X \rightarrow \mathbb{R}$. Hledáme takové řešení $x^* \in X$, pro které je hodnota účelové funkce minimální $f(x^*) = \min_{x \in X} \{f(x)\}$.

5.3.1 Přesné metody řešení problému rozvrhování

Řešením problému rozvrhování pomocí přesných metod nalezneme v literatuře už v roce 1954 (Johnson, 1954). Za nejúspěšnější exaktní metodu považuje mnoho autorů, viz např. (Caseau, Laburthe, 1995) metodu větví a mezí. Zde se snažíme najít celkové nejlepší řešení x^* pomocí rozdělování původní množiny řešení X na stále menší podmnožiny a stanovením dolní meze hodnoty účelové funkce v každé podmnožině. Tyto podmnožiny chápeme jako množiny řešení odpovídající podproblémům původního problému. Pokud v některé podmnožině je stanovena dolní mez vyšší, než je dosud nalezené nejlepší řešení, je možné tuto podmnožinu eliminovat. Obvykle se používá jedna ze dvou prohledávacích strategií: prohledávání do šířky a prohledávání do hloubky. Přesné metody nelze použít na rozsáhlejší problémy, protože jejich časová náročnost roste exponenciálně s lineárním růstem rozsahu problému. Výhodou je nalezení přesného řešení (skutečného minima či maxima), nevýhodou časová náročnost při složitějších problémech.

Metoda větví a mezí

Metodu větví a mezí (Blazewicz, 1996; Caseau, 1995) lze použít k řešení mnoha kombinatorických problémů. Přestože tato metoda je pro problémy rozvrhování použitelná jen do určitého malého rozsahu problémů, v praxi se občas používá. Na rozsáhlejší problémy ji však použít nelze, protože její časová náročnost roste exponenciálně s lineárním růstem rozsahu řešeného problému.

Metodou větví a mezí se snažíme najít celkové nejlepší řešení x^* pomocí rozdělování původní množiny řešení X na stále menší podmnožiny a stanovením dolní meze hodnoty účelové funkce

v každé podmnožině. Tyto podmnožiny chápeme jako množiny řešení odpovídající podproblémům původního problému.

Již ze jména metody vyplývá, že se jedná o dvě různé procedury: větvení a určování mezí. Větvení je rozdělení velkého problému na dva nebo více vzájemně disjunktních podproblémů (množinu X rozdělujeme na vzájemně disjunktní podmnožiny). Následně mohou být tyto podproblémy dále opakovaně rozdělovány stejným způsobem. Určení mezí znamená stanovení dolních mezí hodnot účelové funkce v každé podmnožině X vygenerované větvicím procesem. Větvicí procedura je obvykle reprezentována jako prohledávání stromu. Na úrovni nula strom obsahuje jeden uzel symbolizující původní problém, na dalších úrovních strom obsahuje uzly symbolizující jednotlivé podproblémy. Z každého uzlu problému vedou hrany do všech uzlů jeho podproblémů. V průběhu optimalizace se vytváří seznam dosud nepoužitých uzlů (nazývaných aktivními uzly), které nebudou eliminovány, ale pro které ještě nebyly generovány jejich podproblémy.

Předpokládejme, že na nějakém stupni procesu větvení a určování mezí bylo získáno řešení x_0 , pro které je hodnota účelové funkce $f(x_0)$. Nyní předpokládejme, že nějaký jiný prohledávaný uzel má přiřazenou dolní mez $DM > f(x_0)$. Potom v tomto uzlu již není nutné provádět další hledání, neboť výsledné řešení by zde nikdy nedosáhlo hodnoty lepší než $f(x_0)$. Pokud je takový uzel nalezen, eliminujeme ho a ve větvicím procesu již z něho nepokračujeme. Jeho větev označíme jako prozkoumanou. Řešení, použité pro uvedené zkoumání větví, nazvěme experimentálním řešením. Na počátku může být toto experimentální řešení nalezeno použitím speciálních heuristických procedur nebo jej můžeme získat v průběhu prohledávání stromu. Např. sledujeme stále jen jednu větev stromu a za počáteční řešení zvolíme nejlepší nalezené řešení po určitém počtu kroků. Hodnota účelové funkce $f(x_0)$ pro experimentální řešení x_0 se často označuje jako horní mez. Stojí za zmínku, že uzel v zásadě nemusí být eliminován jen na základě dolní meze, ale také uplatněním jiného eliminačního kritéria, plynoucího například z podmínky přípustnosti řešení daného problému.

Strategie výběru uzlu pro prohledání z množiny uzlů, které dosud nebyly eliminovány a ani z nich nebyly vedeny větve, se nazývá prohledávací strategií. Obvykle se používá jedna ze dvou prohledávacích strategií: prohledávání do šířky a prohledávání do hloubky. V prohledávání do šířky se uplatňuje princip, kde pro prohledání je vybrán vždy uzel s minimální dolní mezí ze všech dosud neprozkoumaných uzlů, zatímco v prohledávání do hloubky jsou uzly potomků rodičovského uzlu prohledávány v -určitým způsobem- určeném pořadí, např. v pořadí neklesajících dolních mezí. Proto v prohledávání do šířky může proces větvení přeskakovat z jedné větve stromu do druhé, zatímco v prohledávání do hloubky jde vždy po první získané větvi přímo dolů až k nějakému experimentálnímu řešení a potom zpět na nejbližší nadřazenou úroveň s aktivními uzly atd. Je jednoduché si povšimnout, že prohledávání do šířky má sklon ke konstruování hodně velkých seznamů aktivních uzlů, zatímco při prohledávání do hloubky tento seznam obsahuje za stejný čas relativně málo aktivních uzlů. Výhodou prohledávání do šířky je

kvalita jím získaných experimentálních řešení, které jsou obvykle blíže optima, než experimentální řešení získaná prohledáváním do hloubky.

Shrme-li předchozí úvahy, můžeme říci, že pro implementování metody větví a mezí na nějaký konkrétní problém (např. rozvrhování výroby), je třeba především stanovit jednak větvící proceduru a hledací strategii, plus proceduru určování mezí a eliminační kritérium.

Matematické programování

Základy matematického (označovaného také jako „dynamické“) programování (Blazewicz, 1996; Klapka, 1970) položil v roce 1956 Bellman. Obecně používaný název matematické programování není zcela přesný, vhodnější by byl název „rekurzivní optimalizace“ nebo „vícestupňová optimalizace“, protože interpretuje optimalizační problémy jako "vícestupňové rozhodovací procesy". V matematickém programování je problém rozdělen na několik stupňů a v každém stupni je potřeba učinit rozhodnutí, která mají vliv na rozhodnutí, která budou učiněna v pozdějších stupních. Na základě Bellmanova principu optimality je sestavena rekurzivní rovnice, která popisuje optimální hodnotu účelové funkce v daném stupni jako funkci hodnoty, získané ve stupni předchozím. Začíná se z nějakého počátečního stupně a optimální strategie pro zbytek procesu, tj. pro následující stupně, je nezávislá na strategii zvolené v předchozích stupních. Třída problémů, pro něž je matematické programování použitelné, je rozsáhlá.

V případě aplikace matematického programování na kombinatorické problémy je třeba pro výpočet hodnoty dle optimalizačního kritéria pro nějaký problém o velikosti k nejdříve znát optimální hodnoty pro každý jeho podproblém o velikosti $k-1$. Pokud je náš problém charakterizován množinou o n elementech, počet podmnožin které musíme uvažovat je $2n$. To znamená, že algoritmy dynamického programování pro problémy rozvrhování jsou exponenciálně výpočtově složité. Pro problémy, které jsou NP -těžké, je často možné konstruovat pseudopolynomiální algoritmy dynamického programování, pomocí nichž lze získat praktické hodnoty pro rozumnou (omezenou) velikost problému.

5.3.2 Heuristické metody řešení problému rozvrhování

Heuristické metody na rozdíl od metod přesných nezaručují nalezení skutečného optimálního řešení, ale jsou schopny v přiměřené době poskytnout uspokojivé řešení i pro složité problémy. Heuristické optimalizační metody se používají pro optimalizaci víceparametrických funkcí s divokým průběhem, tj. s mnoha extrémy nebo neznámým gradientem. Takovými funkcemi je i většina účelových funkcí problémů rozvrhování výroby.

Proces prohledávání prostoru řešení vyžaduje rovnováhu dvou cílů:

1. Co nejrychleji najít nejbližší (většinou lokální) optimum v okolí výchozího bodu.
2. Co nejlépe prohledat prostor všech řešení.

Nejčastěji používanými heuristickými metodami jsou: zakázané prohledávání, simulované žíhání a genetické algoritmy. V literatuře se objevují i jejich úpravy a modifikace (Silva a kol., 2008; Xu a kol., 2006; Shimizu a kol., 2006).

Pro použití většiny stochastických heuristických metod potřebujeme definovat určitou relaci sousedství, která pro každé přípustné řešení x umožňuje pomocí množiny transformací $S(x)$ stanovit jeho jisté okolí $U(x)$ jako množinu přípustných řešení sousedících s x . Při stanovení množiny sousedních řešení je důležité splnění podmínky dosažitelnosti, která požaduje, aby každé řešení bylo dosažitelné z libovolného jiného řešení postupnou aplikací vztahu sousednosti.

V případě problému rozvrhování výroby je přípustným řešením jistá množina proveditelných sekvencí operací na jednotlivých strojích (rozvrh). Pro každé přípustné řešení lze vypočítat hodnotu účelové funkce. Například účelová funkce stanovuje pro daný rozvrh jeho dobu trvání (makespan). Účelová funkce je tedy kritériem kvality každého přípustného řešení. Cílem optimalizace pomocí heuristických metod je najít takové přípustné řešení, které má nejlepší hodnotu účelové funkce.

Metoda lokálního hledání

Nejjednodušší (ale také nejméně efektivní) heuristickou metodou je tzv. metoda lokálního hledání (local search method). Jde vlastně o variantu gradientové metody bez gradientu, kdy se směr nejprudšího spádu určí kompletním prohledáním sousedství. Problém tohoto algoritmu vyplývá ze základní vlastnosti gradientových metod, tj. že často skončí v lokálním optimu a nedosáhne globálního optima. Princip metody lokálního hledání je jednoduchý:

1. Zvolíme náhodně počáteční přípustné řešení.
2. Pro aktuální řešení vygenerujeme všechna sousední řešení a vypočteme pro ně hodnoty účelové funkce.
3. Ze všech sousedních řešení vybereme takové, které má hodnotu účelové funkce nejnižší a pokud je lepší než aktuální řešení, zvolíme je jako nové aktuální řešení.
4. Dokud není splněna podmínka ukončení algoritmu, kterou je nenalezení zlepšujícího řešení mezi sousedními řešeními, pokračujeme bodem 2.

Jistou možností, jak zrychlit postup k optimálnímu řešení je, že sousední řešení generujeme postupně a pro každé hned počítáme hodnotu účelové funkce. Za nové aktuální řešení zvolíme první nalezené sousední řešení, které zlepšuje hodnotu účelové funkce. Zbylá nevygenerovaná sousední řešení není třeba generovat, a tím se ušetří čas výpočtu. Částečně můžeme uvážnutí v lokálním optimu kompenzovat tím, že algoritmus spustíme několikrát z různých náhodně vygenerovaných počátečních řešení a za výsledek vezmeme nejlepší nalezené řešení z několika (mnoha) průběhů.

Genetické algoritmy

Genetické algoritmy (genetic algorithms), (Cheng, 1999; Ishibuchi, 1994; Sakawa, 2000; Yamada, 1995) jsou inspirovány Darwinovými zákony přirozeného výběru. V evolučním vývoji nebo při šlechtění rostlin či živočichů se prosazují jedinci, kteří mají jisté žádoucí charakteristiky, které jsou na genetické úrovni determinovány kombinací rodičovských chromozómů. U zrodu

genetických algoritmů stála myšlenka, že při hledání lepších řešení složitých problémů by bylo možno obdobným způsobem kombinovat části existujících řešení.

Ačkoli genetické algoritmy nemají již prakticky s biologií nic společného, udržují si biologickou terminologii. Jako „*evolve*“ jsou označovány postupné změny proměnných vedoucí k nalezení extrému funkce. Soubor proměnných vstupních veličin funkce tvoří *jedince* (někdy je formálně jedinec nazýván chromozómem). Není zde však tak důležitý samotný jedinec, ale spíše postupný vývoj, kooperace a fungování populace, tedy souboru jedinců. Neúspěšní jedinci vymírají, úspěšní přežívají a množí se. Při aplikaci genetických algoritmů na problémy operačního výzkumu každý jedinec v algoritmu nějakým způsobem kóduje jedno řešení x daného problému. V případě rozvrhování výroby bude jedincem zřejmě jeden přípustný rozvrh. Hodnota zdatnosti (*fitness*) jedince odpovídá hodnotě účelové funkce $f(x)$ v tomto řešení.

Pro manipulaci s chromozómy se používají genetické operátory selekce (*selection*), křížení (*crossover*) a mutace (*mutation*). Při selekci se jedná o výběr jedinců z celkové populace, kteří se stanou rodiči. Důležitým hlediskem, které se přímo či nepřímo uplatňuje při výběru alespoň jednoho z rodičů, je právě jeho zdatnost. Hybnou silou změn jsou křížení (výměna genetické informace mezi jedinci) a mutace (velmi málo pravděpodobné provedení náhodné změny chromozómu, zabraňující zdegenerování populace).

Genetické algoritmy pracují tím způsobem, že nejprve se vytvoří počáteční populace o velikosti p jedinců a pak se tato populace mění pomocí genetických operátorů tak dlouho, dokud není splněna nějaká podmínka ukončení.

Volně lze kostru genetického algoritmu definovat takto:

$P := \text{počáteční_populace_chromozómů}(p);$

REPEAT

$R := \text{selekce}(P);$

$Q := \text{křížení}(R);$

$Q := \text{mutace}(Q);$

$P := \text{vytvořit_novou_populaci}(P, Q);$

UNTIL (*podmínka_ukončení*);

Počáteční populace se většinou získá náhodným generováním. Byly provedeny také pokusy „nasadit“ do počáteční populace „kvalitní“ řešení, získaná jinými heuristickými metodami, ale při tomto způsobu se ukázalo nebezpečí předčasné konvergence do některého z lokálních optim. Co se týče velikosti p populace, je zřejmé, že příliš malá populace může zavinit špatné pokrytí prostoru řešení, zatímco velká populace zvyšuje výpočetní náročnost. Zkušenosti ukazují, že pro většinu problémů je dostačující populace o velikosti 50 až 200 jedinců.

Selekci je třeba z populace vybrat zdatné jedince (tj. jedince s dobrou hodnotou *fitness*), kteří se potom stanou rodiči. Výběr rodičů probíhá pseudonáhodně. Zdatnější jedinci mají větší šanci být

vybrání než méně zdatní jedinci. Čím je jedinec zdatnější (čím má lepší hodnotu fitness), tím je pravděpodobnost jeho výběru ke křížení větší. Pokud se výběr uskutečňuje v souladu s rozdělením pravděpodobnosti, počítané jako podíl hodnoty fitness chromozómu k celkové hodnotě fitness populace, označujeme tento způsob výběru jako „ruleta“. Jiným způsobem selekce je například soutěžení (tournament). Soutěže se účastní jen část populace a její vítěz, nejzdatnější účastník soutěže, se pak stane rodičem.

Křížení se pro vybranou skupinu rodičovských chromozómů může uskutečňovat několika způsoby. Například pro případ, kdy je jedinec reprezentován sekvencí čísel úloh, představuje nejjednodušší přístup tzv. jednobodové křížení, při němž se zvolí náhodně nějaký bod, dělicí oba rodičovské chromozómy na dvě části. Jeden potomek pak zdědí levou část z prvního rodiče a na zbývajících pozicích se mu doplní chybějící prvky v tom pořadí, v jakém se vyskytují ve druhém rodiči, druhý potomek vznikne analogicky s obráceným pořadím rodičů. Např. jestliže řetězce BACDEF a DCABEF jsou rodičovské chromozómy a dělicí bod se nachází za druhou pozicí, pak dostaneme potomky BADCEF a DCBAEF.

Mutace je v obecnosti malá náhodná změna jedné, či několika proměnných (prvků chromozómu), která ovlivní řešení, ať už kladně nebo záporně. Pravděpodobnost uskutečnění mutace je nízká (obvykle menší než 1%). Mutace je nutná k tomu, aby se zamezilo přílišné specializaci - zapadnutí celé populace do jednoho lokálního minima; aby vždy byla možnost vytvoření zásadně nových chromozómů odpovídajících lepšímu řešení. Mutace přináší do chromozómů novou genetickou informaci. Pro mutaci mohou být použity stejné operátory, jakými lze generovat sousední řešení v předchozích popsanych metodách.

Jednou z možností změny p -členné populace je vygenerovat pomocí křížení a mutace novou generaci p potomků a nahradit jí rodičovskou generaci kompletně. Jiné způsoby umožňují nějaké překrývání populace rodičů a potomků a populaci tedy mění inkrementálně. Např. vygenerovaný potomek nahrazuje pseudonáhodně vybraného slabého příslušníka aktuální populace.

5.4 OPTIMALIZACE V SOUČASNÉ PODNIKOVÉ PRAXI

V současné podnikové praxi, v automobilovém průmyslu především, je často na problémy optimalizace aplikována filosofie *Štíhlé výroby* (*Lean production*), jejímž základem je systém řízení logistiky, vyvinutý japonskou firmou Toyota v 60. letech minulého století (*Toyota production system*). Filosofie štíhlé výroby je zaměřena na redukci plýtvání a aktivit, které nepřidávají výrobku hodnotu (Womack, a kol., 1991) a obsahuje prvky strategie Just-in-time (JIT). Ve smyslu plýtvání se rozumí nadvýroba, defekty, zbytečné zásoby, neadekvátní zpracování, nadbytečný transport, čekání a zbytečné pohyby. Firmy měří jejich stupeň aplikace štíhlé výroby pomocí totálního řízení kvality (TQM) a JIT programy (Soriano a kol., 2002). V každém případě je implementace štíhlé výroby ve výrobním systému komplexní úlohou. Systémy štíhlé výroby jsou navrženy pro hladkou poptávkovou křivku. Vzhledem k výskytu nejistot je nezbytný určitý stupeň flexibility; zde je možno reagovat různým počtem kanbanů, redukcí časů pro seřízení pomocí metody SMED a změnou rozmístění strojů (layoutu) na flexibilních pracovištích. Layout a systém kanban hraje důležitou roli v materiálovém toku.

Ve výrobních firmách montážní oblasti obvykle obsluhují i sklad komponent, které budou namontovány do konečného výrobku. Hlavní problém, který je spojen se zásobováním těmito komponentami, je omezená velikost plochy pracoviště, optimalizovaného s ohledem na celkové prostorové uspořádání (layout) výrobní plochy. To může znamenat, že množství komponent, uskladněných na pracovišti, nepokrývá denní výrobní požadované množství. Stejně důležité je rovněž nahradit spotřebovaný materiál ve vhodných časových intervalech tak, aby montážní linka byla v provozu bez přerušení způsobených nedostatkem materiálu. V každém případě proces zlepšení „synchronní výroby“ (Womack, Jones, 1996) přináší problémy s interní dopravou jak materiálů k montážním pracovištím, tak s odvážením hotových výrobků k uskladnění (do skladu hotových výrobků).

Ve (Shah, Ward, 2003) autoři prokázali, že uplatňování praktik štíhlé výroby má velký vliv na provozní výkonnost pracoviště. V každém případě ale jejich zavádění vyžaduje konkrétně přizpůsobená řešení. Interní tok materiálů směrem na pracoviště i ven z pracoviště závisí na výrobních podmínkách a jednotlivých charakteristikách pracoviště. Rozpracovanou výrobu je nutné co nejvíce zredukovat. Nejčastěji opakované jsou požadavky na plynulý tok, vybalancování, synchronizaci, kratší časy cyklu a řešení akutních problémů. Pro tyto problémy je klíčovým faktorem flexibilita určování transportních cest. Flexibilita určování transportních cest je definována v (Sethi, Sethi, 1990) jako schopnost vyrábět součástku alternativními trasami napříč systémem. Ačkoli tato flexibilita transportních cest může být upravována především ve smyslu flexibility strojních operací, uvažujeme flexibilitu transportních cest také ve smyslu přizpůsobivosti systémů manipulace s materiálem (Sethi, Sethi, 1990). Navíc, dle (Lejtman a kol., 2002) vyžaduje návrh transportních cest vyhodnocení zcela zatíženého a nezatíženého systému manipulace s materiálem pro dané prostorové uspořádání výrobní jednotky pro efektivní tok materiálu. V systémech štíhlé výroby musí systémy manipulace s materiálem vést k synchronnímu materiálovému toku.

Různí autoři studovali tyto problémy a literatura obsahuje mnoho příspěvků, vztažených k problému transportních cest a jejich matematickým řešením. Tato řešení obsahují položky, jako jsou např. zhodnocení flexibility transportních cest (Calvo a kol., 2006), modely transportních cest (Hwang, 2004), nebo transportní cesty systémů s pravidelným cyklem rozvozu („milkrun“) (Sullivan a kol., 2002). Uvedená řešení ale neobsahují položky, přímo související se štíhlou výrobou. V každém případě má přístup štíhlé výroby výhodu, která umožňuje použít jednoduše aplikované průmyslové nástroje. Nástrojem pro identifikaci míst plýtvání je metodika mapování hodnotového toku (VSM). Literatura uvádí příklady aplikace v dalších oblastech (Martínez, Pérez, 2001), ačkoli nesouvisí přímo s manipulací s materiálem.

Cílem případové studie v této práci obsažené bude standardizace toku materiálu na omezeném prostoru výrobní haly pomocí manipulace s materiálem; záměrem je ukázat vztah mezi flexibilitou transportních cest a výkonem montážní linky v režimu štíhlé výroby. Tato případová studie se zabývá analýzou interního toku materiálů a je ve své podstatě jednou z nejdůležitějších součástí optimalizačního projektu, souvisejícího s aplikací systému štíhlé výroby v konkrétním podniku z oblasti automobilového průmyslu.

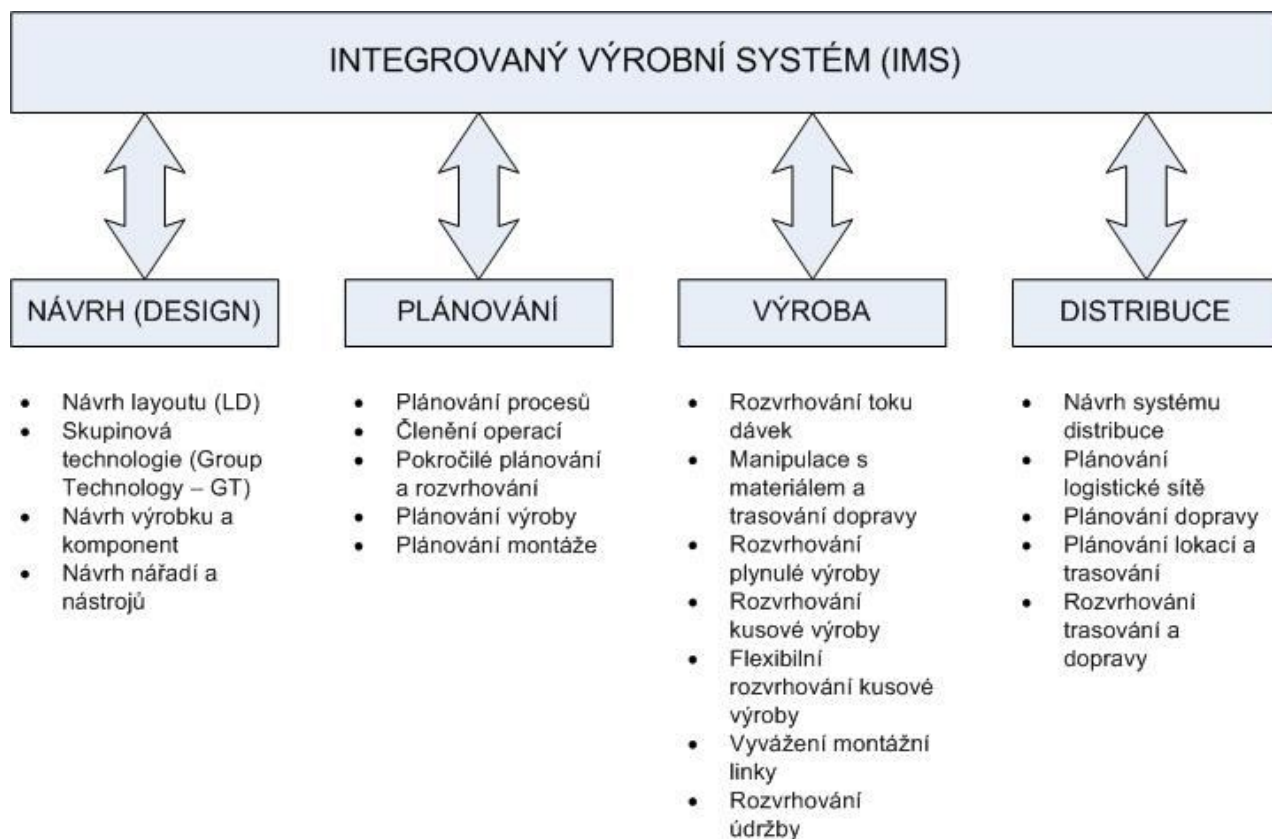
6 PROBLÉM NALEZENÍ VHODNÉ METODIKY

V jedné z prací, publikovaných v poslední době, její autoři Gen, Lin a Zhang (Gen a kol., 2008) přicházejí s konceptem Integrovaného výrobního systému (Integrated Manufacturing System – IMS).

Tento přístup lze využít jednak jako rámec, zastřešující podnikové procesy a také v něm uvedené metody řešení jako jedny z možných pro řešení výše definovaného problému optimalizace výrobních procesů podniku.

Koncept integrovaného systému rozčleňuje systém výroby do celkem čtyř složek:

1. Problém návrhu layoutu (Layout Design problem – LD)
2. Problém flexibilního rozvrhování úloh v dílně (flexible Job-shop Scheduling problem – fJSP)
3. Problém vícestupňového plánování procesů (Multistage Process Planning problem – MPP)
4. Problém pokročilého plánování a rozvrhování (Advanced Planning and Scheduling problem – APS)



Obrázek 6.1: Základní oblasti integrovaného výrobního systému (Gen, 2007)

Na schématu zobrazeném na obr. 6.1 jsou znázorněny jednotlivé podoblasti integrovaného výrobního systému, které s sebou přinášejí jednotlivé problémy, z nichž většina spadá do třídy NP-těžkých. Jako vhodné pro jejich řešení se ukázaly být evoluční techniky (ET), tj. heuristický přístup řešení pomocí genetických algoritmů.

6.1 PROBLÉM NÁVRHU LAYOUTU

Rozvržení layoutu, tedy prostorového uspořádání výrobních, nevýrobních a skladovacích kapacit v podniku je bezpochyby jednou z velmi důležitých úloh, protože má přímý dopad nejen na v této práci obsaženou ekonomickou stránku činnosti, ale také na bezpečnost práce a v neposlední řadě také na sociální prostředí podniku.

Návrh layoutu je záležitostí nejčastěji jednorázovou. Obvyklý případ je také postupná tvorba layoutu v případech, kdy se objekt podnik, coby objekt (budova, hala), zaplňuje výrobním zařízením a skladovacími plochami v delším časovém období s přibývajícími dalšími procesy či se zvyšující se kapacitou procesů stávajících. Poslední případ je návrh ideálního rozvržení layoutu s konečným počtem strojů, zařízení a skladovacích míst na dané ploše. Tomuto poslednímu případu bude věnována pozornost především.

6.1.1 Typický rozsah problémů layoutu

Od 50. let 20. století bylo vytvořeno mnoho algoritmů, které řeší problém prostorového uspořádání (layoutu). Tyto algoritmy je možné klasifikovat jako optimální či sub-optimální. O deset let později byla věnována značná pozornost vývoji optimálních algoritmů pro Kvadratický Přiřazovací Problém (QAP). Algoritmus QAP byl použit společně s celočíselným programováním k modelování a řešení layoutu optimalizačním přístupem. K nevýhodám optimalizačních algoritmů patří především vysoké nároky na výpočetní čas a fakt, že rozsáhlé problémy nelze řešit zcela optimálně. Mnoho přístupů předpokládá, že všechna oddělení jsou stejně veliká a fixní. V minulých letech použili někteří autoři k řešení layoutu rozsáhlých budov také heuristické metody, jako jsou simulované žíhání, genetické algoritmy a metodu zakázaného prohledávání. Heuristiky jsou specifické na daný problém, jejich běh netrvá tak dlouhou dobu a jejich řešení jsou velice blízko optimálním. Některé dříve vytvořené heuristiky k řešení problematiky layoutu ignorovaly geometrická omezení, jako byly tvary a plochy jednotlivých oddělení, což jsou prvky pro tvorbu layoutu zásadní. Dále byla užita Centroidální, nebo Euklidovská vzdálenost při výpočtu nákladů na manipulaci s materiálem, bez ohledu na šířku (plochu) manipulačních tras. Meller a Gau, (1999) použili iterativní přístup, ve kterém byly uplatněny jak GA, tak MIP, ale výpočetní čas se významně zvyšoval s narůstající šíří problému. Dále Azadivar a Wang (2000) vytvořili nový přístup, ve kterém jsou užity GA, simulace, automatický generátor simulačních modelů a grafické rozhraní. Tento přístup ovšem nebyl schopen zaručit proveditelnost navrženého řešení.

Výsledkem je koncentrace výzkumu na tvorbu sub-optimálních algoritmů pro řešení problémů layoutu. Některé dřívější metody používaly grafy materiálových toků, procesní mapy, zkušenost a znalosti podnikových analytiků. Veškeré zmíněné algoritmy ale mají stále velkou výpočetní dobu a nároky na výpočetní techniku. Například maximální velikost problému, který lze uspokojivě řešit pomocí genetických algoritmů (GA) je problém o 32 odděleních (Isler, 1998).

6.1.2 Návrh layoutu pomocí QAP

Kvadratický přiřazovací problém (QAP) je jedním z nejzajímavějších kombinatorických optimalizačních problémů v historii. Jaký je optimální způsob propojit počítačovou základní desku? Jak mají být rozmístěna jednotlivá oddělení v nemocnici? Na první pohled se může zdát, že

tyto otázky nemají žádnou souvislost, kromě toho, že dotazované činnosti lze označit za problém. Společným spojovacím elementem je právě metoda QAP, která může být použita k řešení těchto problémů.

Kvadratický přiřazovací problém byl původně představen již v roce 1957 T. C. Koopmansem a M. Beckmanem (Koopmans a Beckman, 1957), kteří se snažili modelovat problém rozmístění zařízení. Mnoho vědců, včetně matematiků, počítačových odborníků, odborníků na operační analýzu a ekonomů použilo model QAP na širokou škálu optimalizačních problémů. Konkrétně lze uvést aplikace na modely prostředí nemocnice (Elshafei, 1977), návrhy základových desek počítačů (Brixius a Anstreicher, 2001), a také (Resende, Ramakrishnan, Drezner, 1995), problematiku rozvrhování (Carlson a Nemhauser, 1966) plus (Geoffrion a Graves, 1976) a samozřejmě problémy rozmístění (Koopmans a Beckman, 1957).

Lineární přiřazovací problém

Běžně používaným intuitivním úvodem do LAP (lineární přiřazovací problém), jak je použit Hananem a Kurtzbergem (Hanan a Kurtzberg, 1972), se týká přiřazení n osob m úkolům. Pro přiřazení každého úkolu je stanovena hodnota nákladů (cena) c_{ij} přiřazení osoby i práci j . Cílem je přiřadit každou osobu právě jednomu úkolu tak, aby byla minimalizována suma přiřazovacích nákladů, tj. celkové náklady.

Matematicky lze formulovat:

$$\min \sum_{i=1}^n c_{i\pi(i)} \quad (6.1)$$

přes všechny permutace $\pi \in S_n$, kde S_n je množina permutací $1, 2, \dots, n$ a $j = \pi(i)$ je přiřazení úkolu osobě i . Lze si povšimnout, že každá množina přiřazení je permutací množiny n celých čísel; proto existuje zřejmě $n!$ způsobů ve kterých n úkolů může být přiřazeno n osobám. Jak je uvedeno v (Hanan a Kurtzberg, 1972), lze vyznívat, že pro velké hodnoty čísla n je výpočet tzv. brutální silou neproveditelný. Pokud například je třeba přiřadit $n = 10$ osob deseti úkolům výše popsáním způsobem, je možná překvapující, že je tudíž třeba prověřit $10!$, tedy 3,63 milionu možností. Je tedy zřejmé, že pro řešení netriviálních úloh je třeba použít efektivnější algoritmy.

Kvadratický přiřazovací problém

Jak již bylo uvedeno, pro návrh layoutu není vhodný výše popsáný LAP, ale QAP. V případě QAP se k „matici cen“ přidává ještě „matice vzdáleností“. Pro srovnání se odkazují opět k (Hanan a Kurtzberg, 1972) a jejich interpretaci QAP, která užívá přiřazení kanceláří osobám. V QAP je zadána matice cen $C = [c_{ij}]$, kde c_{ij} je měřítkem afinity mezi osobou i a osobou j . Existuje také n možných kanceláří, ke kterým je třeba přiřadit osoby. Nakonec je dána zmiňovaná tzv. matice vzdáleností $D = [d_{kl}]$, kde d_{kl} představuje vzdálenost kanceláří k a l . Předpokládejme, že osoba i je přiřazena kanceláři $p(i)$ a osoba j je přiřazena kanceláři $p(j)$. Potom náklady, spojené s tímto přiřazením jsou označeny jako $c_{ij}d_{p(i)p(j)}$. Celkové náklady na všechna přiřazení bude suma všech $c_{ij}d_{p(i)p(j)}$ přes všechna i, j . Optimální přiřazení bude to, ve kterém bude celková cena minimální. Pokud „vzdálenost“ reprezentuje množství přímé komunikace mezi osobami („face-to-face“), pak

přiřazení, které požadujeme, je to, které minimalizuje celkové množství vzdálenosti, kterou osoby nachodí.

Jako v případě LAP, existuje zde $n!$ permutací, ze kterých je třeba vybrat optimální přiřazení. Nicméně, je třeba upozornit, na klíčový rozdíl mezi LAP a QAP, který způsobuje, že QAP je mnohem obtížnější řešit. Zatímco LAP, ve kterém přiřazení úkolu j osobě i bylo provedeno nezávisle na přiřazení ostatním zaměstnancům, v případě QAP zde závislost existuje. To znamená, že pokud uvažujeme přiřazení osoby i kanceláři k , je nutné uvažovat přiřazení všech ostatních osob, které mají určitou (nenulovou) souvislost s osobou i .

Formulace autorů Koopmanse a Beckmana

Definujme $\mathbf{C}$ a $\mathbf{D}$ jako dvě matice o hodnotě $n \times n$ tak, že $\mathbf{C} = [c_{ij}]$ a $\mathbf{D} = [d_{ij}]$. Jak je uvedeno výše, uvažujeme množinu celých kladných čísel $1, 2, \dots, n$, a definujme S_n jako množinu permutací $1, 2, \dots, n$. Potom kvadratický přiřazovací problém může být definován jako:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^n c_{ij} d_{\pi(i)\pi(j)} \quad (6.2)$$

přes všechny permutace $\pi \in S_n$, kde S_n . Tato formulace je známa jako formulace Koopmanse a Beckmana.

Návrh layoutu výrobního podniku lze modelovat například pomocí kvadratického přiřazovacího problému (QAP), definovaného již v roce 1957 (Koopmans a Beckman, 1957). Dosud byl tento model problému použit na nejrůznější reálné situace, jako byly např. problém rozmístění budov v univerzitních kampusech, uspořádání oddělení v nemocnicích, problém minimalizace celkové délky vodičů v elektronických obvodech, atd.

QAP lze formulovat jako problém přiřazení množiny strojů (či aktivit) množině lokací, s danými náklady na přesun mezi lokacemi a danými toky mezi stroji (aktivitami).

Formálně je zadáno m strojů (aktivit) a n lokací, tedy matice $\mathbf{D} = [d_{ih}]$ o rozměru n

$\times n$, udávající náklady na přesun mezi lokacemi, kde d_{ih} je cena přesunu mezi lokací i a lokací h , matici $\mathbf{F} = [f_{jk}]$ o rozměru $m \times m$ charakterizující toky mezi stroji (přesuny dat a materiálu, příp. personálu, atd.), kde f_{jk} je tok mezi strojem j a strojem k . Dále definujme π jako permutaci prvků $\{1, \dots, n\}$, kde π_i je stroj, který byl přiřazen lokaci i .

Náklady na přemístěný materiál (resp. přesunutá data) mezi stroji lze vyjádřit jako součin nákladů na přesun mezi lokacemi, kterým byly stroje přiřazeny a toku mezi stroji, $c_{ih} = d_{ih} f_{\pi(i)\pi(h)}$.

Cílem je najít takovou permutaci π , která minimalizuje následující účelovou funkci:

$$C(\pi) = \sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^n d_{ih} f_{\pi(i)\pi(h)} \quad (6.3)$$

Optimální permutace π_{opt} je definována jako:

$$\pi_{opt} = \arg \min_{\pi \in \Pi(n)} C(\pi) \quad (6.4)$$

kde $\Pi(n)$ je množina všech permutací prvků $\{1, \dots, n\}$.

Problém lze přeformulovat, aby vynikla kvadratická podstata účelové funkce.

Definujme X jako matici permutací velikosti $n \times n$ obsahující prvky:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \pi(i) = k \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (6.5)$$

Přiřadíme-li stroj j k lokaci i a současně stroj k lokaci h (tedy $\pi(i) = j$ a $\pi(h) = k$), pak platí:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n d_{ih} f_{jk} x_{ij} x_{hk} = d_{ih} f_{\pi(i)\pi(h)}. \quad (6.6)$$

Cílem je tedy nalézt matici permutací X takovou, kdy:

$$C(\pi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^n \sum_{k=1}^n d_{ih} f_{jk} x_{ij} x_{hk} \quad (6.7)$$

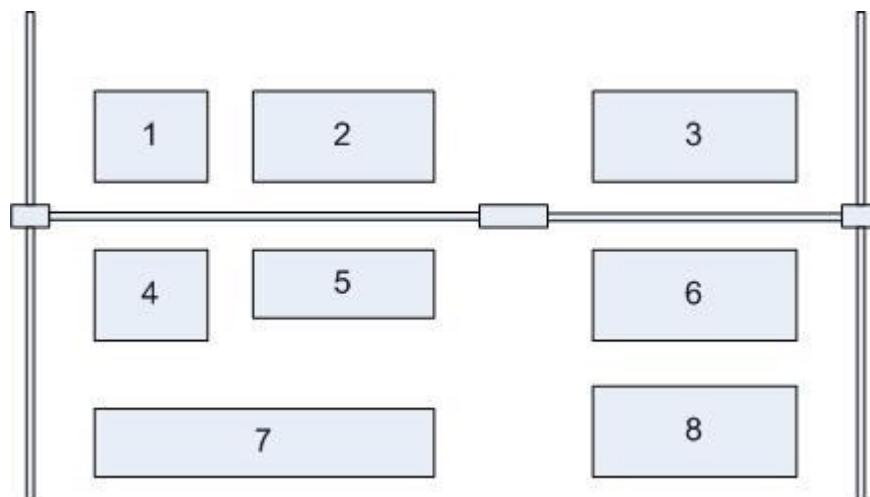
je minimální, při uvážení omezení:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (6.8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (6.9)$$

$$x \in \{0,1\}. \quad (6.10)$$

QAP je NP-těžká úloha, kdy při problémech o velikosti $n \geq 20$ lze obtížně řešit zcela optimálně přesnými metodami. Řešením je použít již dříve podrobněji popsane heuristické algoritmy.



Obr. 6.2: Příklad možných (kandidátních) lokací pro umístění strojů (Gen, 2007)

Popsaná metoda je vhodně použitelná, jak bylo uvedeno výše, na problémy rozmísťování, ať už budov v kampusu, nebo součástí na desce plošných spojů. Při aplikaci na podmínky výrobního podniku je vhodná pro kusový či malosériový typ výroby s jednotlivými prostorově rozmístěnými stroji (aktivitami) či jejich skupinami po výrobní ploše, kde dochází k obecně různému trasování

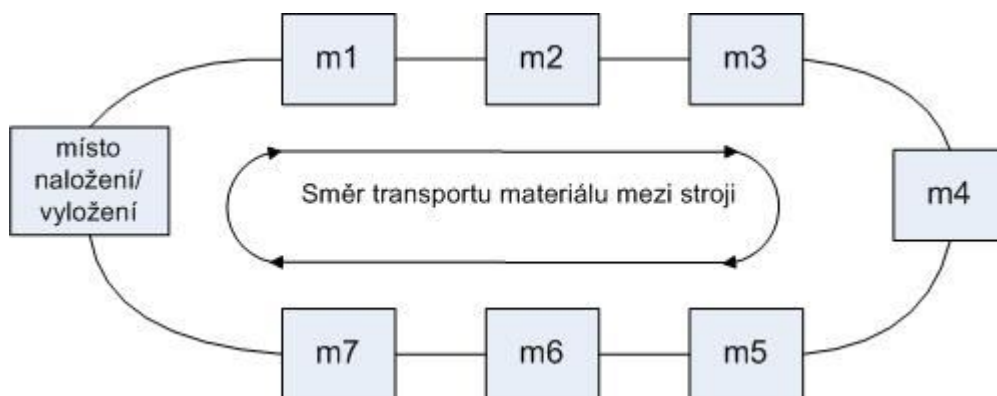
dopravních cest materiálového toku, tj. pokud se jednotlivé technologické postupy vyráběných výrobků od sebe vzájemně odlišují a výrobky tedy vytvářejí zcela obecné materiálové toky.

Možnou nevýhodou mohou být také rozdílné velikosti kandidátních lokací (respektive rozdílné rozměry jednotlivých strojů, které chceme umístit).

Při snaze o aplikaci metody QAP na prostředí sériové výroby s jednosměrným jasně definovaným tokem materiálu, s obdobnými technologickými postupy metoda nepřináší nové, (překvapující) výsledky. V případě jednosměrného toku je nejvhodnějším prostorovým uspořádáním logicky postupné prostorové seřazení jednotlivých procesů za sebe ve směru jejich průběhu.

6.1.3 Návrh layoutu - problematika uzavřeného okruhu (loop layout design)

Dalším uváděným problémem je i metoda řešení problematiky návrhu uzavřeného okruhu (loop layout design), popsaná např. v (Gen, 1998). Schéma problému je zobrazeno na Obr. 6.3; jedná se o problém fyzického umístění strojů tak aby vytvářely uzavřený okruh (nemusí být samozřejmě nutně kruh či elipsa) s cílem dosažení minimální manipulace s materiálem. Transport materiálu mezi stroji probíhá pouze jednosměrně, což z praktického hlediska představuje nasazení pásového (nebo obecně jiného) dopravníku, včetně možnosti použití automatických (samořiditelných) vozíků či naopak, viz případová studie, vozíků, obsluhovaných lidmi. Procesy jsou nastaveny tak, že zpracování na stroji j ihned následuje po zpracování na stroji i a pokud stroj j je ve fyzickém pořadí v okruhu dříve než stroj i , polotovár je umístěn zpět do oběhu (na dopravník) a pokračuje oběhnout znovu další okruh, než se dostane ke stroji j , protože. Kritériem rozvrhu je minimální počet oběhů rozpracovaného výrobku (resp. všech vyráběných výrobků) dokola, než je kompletně dokončen.



Obr. 6.3: Schéma příkladu problému layoutu uzavřeného okruhu, (vlastní zpracování)

Přestože tento problém připomíná uváděný proces navážení materiálu na linky PCB a UNIT, pro procesně uspořádaný layout nepřináší žádné zlepšení. Tato metoda je, podobně jako QAP, vhodná pro kusovou výrobu; pro malosériovou či sériovou výrobu ji lze využít v případě, že výrobním programem jsou výrobky, kde technologický postup vyžaduje opakované operace na strojích, jako je v případě výroby např. výrobků s velkými rozměry, vyráběných v kusových, či

malosériových dávkách na velkých obráběcích strojích, které vzhledem k využití kapacity i pořizovacím nákladům jsou v podniku jedinečné.

Pro doplnění lze uvést, že další autoři (Lee a kol., 2005) navrhli úpravu genetického algoritmu pro řešení vícepodlažního prostorového uspořádání objektu, použitelnou pro vícepodlažní výrobní prostory, či (v případě autorů) aplikovanou na stavbu lodí.

6.1.4 Návrh layoutu pomocí metodiky VSM

Jednou ze součástí metodiky zavádění štihlé výroby (Lean Manufacturing) a současně i štihlé logistiky (Lean Logistics) je mapování toku hodnot (Value Stream Mapping).

Myšlenkou štihlé výroby je odstranění plýtvání ve kterémkoliv bodu procesu, tedy od kontaktu se zákazníkem a převzetí jeho požadavku, přes dodavatelské síť až po samotný výrobní proces a následné předání výrobku zákazníkovi. Jedná se tedy o provedení tohoto procesu za předpokladu minimálních ztrát (časových / finančních). Avšak pozor, zde je nutno upozornit, že se jedná o minimální ztráty z hlediska procesu, který může obsahovat jeden či celou řadu stejných či odlišných výrobků; u jednotlivých výrobků nelze vždy nastavit procesy jako minimalizované, ale jako optimalizované vzhledem k celkovému procesu.

Za první z firem, která aplikovala metody a techniky štihlé výroby je považována automobilka Toyota. Celý koncept *Toyota Production System* obsahuje nejen dnes již rozšířený systém Kanban, ale i dalších způsoby omezení plýtvání. Tím je i koncept zvaný Zero-Muda, kde „Muda“ je japonské slovo, představující stav věcí, ve kterých materiál, zařízení a lidská síla přidávají „ztrátové“ – zbytečné náklady a nepřispívají žádnou přidanou hodnotou výrobku. Nadbytečná výroba, přesahující objednávku zákazníka (resp.dalšího článku výroby), přebytečné zásoby, vyžadující nákladný prostor, výrobky s nízkou kvalitou –vyžadující nejen prostor, ale i další objem práce a dílů, to vše lze zahrnout pod pojem „Muda“.

Lean Manufacturing je „systematický přístup k identifikování, odstraňování a plýtvání pomocí neustálého zlepšování, produkce výrobků, která je tažená zákazníkem a snahy k dokonalosti.“(Kilpatrick, 2003). Podobně (Debnár a Kysel', 2005) definují štihlou výrobu jako „způsob organizační změny, který je nejčastěji spojen s cílem zvýšení zisku. Tohoto je možné dosáhnout zaměřením se na snížení nákladů.“

Pět základních principů štihlé výroby je (Debnár; Kysel', 2005):

1. Porozumění pojmu hodnoty z pohledu zákazníka – musíme se zaměřit na pojem hodnota. Jedině to, co zákazník považuje za hodnotu, je pro nás důležité.
2. Analýza toku hodnot – jakmile porozumíme hodnotě tak, jak ji chápe zákazník, je důležité správně definovat hodnotové toky (opět z pohledu zákazníka) v našem výrobním procesu. Určíme kroky, které hodnotu přidávají a kroky, které ne. Ty, které hodnotu nepřinášejí, je nutné odstranit z celého procesu.
3. Plynulý tok – všude tam, kde je to možné, zavedeme plynulý tok materiálu (bez zbytečných mezikladů a rozpracované výroby)

4. Aplikace tahového systému – podniky nevyrábí na sklad, ale samotná výroba je podmíněna požadavkem zákazníka.
5. Dokonalost – po aplikaci všech předcházejících principů hledáme možnosti jak je ještě více zdokonalit.

Mapování toku hodnot je důležitým krokem pro zavedení principů štlhlé výroby a plnění její podstaty. Smyslem je odstranit činnosti, které nepřidávají výrobku (z hlediska zákazníka) žádnou přidanou hodnotu a zákazník není samozřejmě ochoten za tyto činnosti zaplatit.

Hodnotový tok je souhrn veškerého dění, kroků hodnotu přidávajících i nepřidávajících, které jsou nutné k tomu, aby výrobek prošel (Rother; Shook, 1999):

1. tokem výroby - od suroviny k zákazníkovi
2. tokem vývoje - od návrhu až po náběh výroby

Postup při mapování toku hodnot vychází ze čtyř kroků:

1. Výběr výrobní řady
2. Znázornění současného stavu
3. Znázornění budoucího stavu
4. Realizace

V současné podnikové praxi bývá metoda uplatňována nejčastěji formou *workshopu*, řízeného konzultantem, který je specialista na problematiku VSM. Délka *workshopu* je obvykle v rámci jednoho týdne. Na tento *workshop* jsou managementem nominováni klíčoví členové jednotlivých oddělení (ne automaticky vedoucí oddělení), kteří mají přehled o procesech, které v oddělení probíhají. Cíl takového týdne zahrnuje výše uvedené body 1-3, tj. znázornění současného stavu a návržení stavu budoucího. Proces realizace je v hrubých rysech nastíněn a jeho realizace pak probíhá podle plánu, odsouhlaseného managementem.

6.1.5 Návrh layoutu pomocí Skupinové technologie (GT)

Skupinová technologie (GT) a její charakteristika

Jedním z řešení, které lze použít i pro řešení rozsáhlých problémů, aniž existuje riziko nepřijatelné výpočetní doby, je Skupinová Technologie (Group Technology - GT). Tato metoda hledá úspory z rozsahu (economies of scale) hromadné výroby, která má charakter dávkové výroby. Na počátku výzkumu GT nebyla cílem minimalizace nákladů, ale spíše snaha o zlepšení řízení a kontroly výrobních systémů. GT může být také jedním z kritických elementů v případě znovuoobnovení systémů zastaralých a neproduktivních výrobních podniků. GT spojuje následující prvky do jednoho souvislého problému:

- Komponenty jsou sloučeny do rodin se shodnými požadavky na výrobu

- Malé skupiny strojů jsou přiřazeny rodinám komponent
- Skupiny obsluhujících osob jsou přiřazeny buňkám

Základní myšlenka rozdělení výroby na rodiny výrobků a dílů vznikla ze seskupování součástek s podobnými charakteristikami zpracování do skupin, nazývaných „sloučené dávky“ a jejich trasování skrz funkční strojní layout za podpory plánování výroby. Základem GT buňky je tedy rozdělit výrobní plochu do skupin strojů, ve kterých mohou být dokončeny veškeré požadované operace. Uvnitř vlastní GT buňky mohou pak být provedeny všechny operace s výhodou limitované oblasti provádění úkolu. Rovněž ze sociálně-pracovního hlediska mají členové týmu lepší pocit sounáležitosti. Z těchto důvodů proto GT může být efektivním nástrojem pro řešení problematiky layoutu větších výrobních podniků.

K rozvoji Skupinové technologie přispělo již mnoho autorů. Přehledné práce byly uvedeny již dříve, viz Singh (1993), Offodile, Mehrez, Grznar (1994) a Selim (1998). Existují obvykle dva přístupy k uvážení vstupů pro vytváření buněk. Většina autorů používá binární matici stroj-komponenta. Ostatní autoři použili k formaci buněk rovněž výrobní sekvenci a výrobní objemy. Matice stroj-komponenta je pak definována jako $A = \{[a_{ij}]\}$, kde:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 \dots \text{když } _komponenta_ "i" \in "j" \\ 0 \dots \text{jinak} \end{cases}$$

Pokud je použita matice stroj-komponenta, cílem je často vytvořit buňky a přiřadit součásti těmto buňkám tak, aby byla zaručena vysoká koncentrace hodnot „1“ v každé z diagonálních matic. Hodnoty „1“, které stojí mimo diagonální blok, reprezentují potřebu pro transport mezi buňkami. Matice stroj-komponenta nezobrazuje přímo objem toků mezi buňkami - viz Nair, Narendran (1998), ani nebere ohled na zpracující sekvenci nebo opětovné zpracování na stejném stroji. Jeon a Leep (2005), prezentovali metodiku, uvažující alternativní trasování v případech poruch strojů. Kim, Baek a Jun (2005) se zabývali přístupem, který současně minimalizuje pohyby uvnitř buněk a nerovnovážnosti vytížení. Tento problém je formulován jako binární celočíselný program, který používá k vytvoření strojních buněk alternativní trasování součástek. Dunker, Westkamper a Radons (2002) navrhli nový algoritmus, nazvaný „evoluční algoritmus pro uspořádání a umístění strojů uvnitř buněk za použití GA“. Tento algoritmus také uspořádává buňky s ohledem na sebe navzájem použitím dalšího GA.

Literatura o aplikaci GT na uspořádání layoutu

Problém návrhu layoutu (Facility Layout Problem – FLP) je definován jako fyzické uspořádání specifických oddělení, nebo strojů, na definované ploše. Dle Herragu (1992), by stroje nebo pracovní stanice měly být umístěny takovým způsobem, aby manipulace s materiálem byla mezi nimi minimální. Náklady na tuto manipulaci lze snížit v zásadě dvěma technikami – přizpůsobením, nebo přemístěním zařízení. Přizpůsobení znamená proces, kdy jsou seskupována nesteré tvarovaná oddělení do větších objektů optimalizací zadaných cílů. Přemístění zařízení znamená změnu polohy zařízení, s ohledem na čas, potřebný k opětovnému zprovoznění zařízení.

Ve FLP se k nalezení vhodného layoutu, který splňuje vícenásobné podmínky, používají vícekritériální rozhodovací techniky. Podmínky se vztahují k celkové integraci všech funkcí, minimálnímu pohybu materiálu, plynulému toku, spokojenosti zaměstnanců, bezpečnosti, atd.

Existují také další, ostatní faktory, které návrh layoutu silně ovlivňují. Jsou to minimální čas cyklu a minimální čas dodávky, bez udržování velkého rozsahu zásob. Dle autorů Tam a Li (1991) mohou být náklady na transport redukovány stanovením předem daných omezujících podmínek. Tyto omezující podmínky zahrnují překrytí zařízení, definici hranic pro plochy jednotlivých oddělení a plochy.

Výchozí model uspořádání strojových buněk (Nair a Narendran, 1998)

Autoři Nair a Narendran navrhli již v roce 1998 model uspořádání strojových buněk za použití skupinové technologie (GT), označovaný „Posuzování na základě podobnostního indexu strojů“.

6.1.5.1.1 Označení použité autory Nair, Narendran:

m	počet strojů (řádky)
n	počet komponent (sloupce)
B	$[b_{ijp}]$ vstupní matice incidence komponenta-stroj
n_{ji}	počet, kolikrát j -tá komponenta je zpracovávána na i -tém stroji ($n_{ji} \geq 0$)
b_{jip}	číslo sekvence operací, pokud j -tá ($1 \leq j \leq n$) komponenta je zpracovávána na i -tém ($1 \leq i \leq n$) stroji po p -tý čas ($1 \leq p \leq n$); jinak 0
W_j	Hmotnost komponenty j
r_j	maximální počet operací pro komponentu j
$s(i,l)$	podobnostní index mezi stroji i a l
$TOTOP_k$	celkový počet operací v k -té buňce
NOP_k	celkový počet ne-operací (mezer) v k -té buňce
c	maximální počet strojních buněk
β	Bond efektivita

6.1.5.1.2 Metodika tvoření buněk

Pro dvojici strojů i a l je následující rovnicí vypočten podobnostní index:

$$s(i,l) = \frac{C_i + C_j}{T_i + T_j} \quad (6.11)$$

kde

$$T_i = \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{n_{ji}} w_j t_{jip}$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{n_{ji}} w_j c_{jip}$$

kde

$$\begin{aligned} t_{jip} &= 0 \text{ pokud } b_{jip} = 0 \\ &= 1 \text{ nebo } r_j \\ &= 2 \text{ jinak} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{jip} &= 0 \text{ jestliže } b_{jip} = 0 \text{ nebo } b_{jlp} = 0 \\ &= 1 \text{ nebo } r_j \\ &= 2 \text{ jinak} \end{aligned}$$

Toto je sekvenční přístup v případě, kdy stroje / komponenty jsou uspořádány do skupin ve dvou různých fázích. První fáze vytváří strojní buňky, založené na výše uvedeném podobnostním měřítku, ve druhé fázi jsou rodiny komponent přiděleny strojním buňkám.

Použitím rovnice 6.1 zobrazuje matice podobnostních indexů vazby mezi vytvořenými páry strojů. Některé stroje vykazují silné vazby navzájem (vysoká hodnota podobnosti), zatímco jiné jsou zcela bez vazeb (nulová podobnost). Každý stroj je vybrán jako potenciální zárodek pro vznik skupiny strojů, nebo seskupení. Stroje, které jsou vybrány jako zárodky pro seskupení, jsou zařazeny jako centrální (střediskové). Jestliže je k dispozici sada středisek, strojní buňky lze uspořádat kolem těchto zárodků přidělováním jiných strojů k těmto zárodkům na základě nejvyššího podobnostního indexu.

Po uspořádání strojních buněk musí být komponenty přiřazeny buňkám tak, aby vytvořily rodiny komponent. Každá uspořádaná buňka je transformována do zárodečného vektoru komponent. Počet transportů vektoru každé komponenty s každou komponentou je vypočten použitím rovnice 6.2 a vektor komponenty, zaujímající nejvyšší hodnotu, je přiřazen odpovídající komponentě zárodečného vektoru.

Vektor komponent je reprezentován jako $(P_j = \{ P_{1j} P_{2j} \dots P_{ij} \dots P_{mj} \})$, $1 \leq j \leq n$.

Počet transportů (sc_{kj}) vektoru každé komponenty se zárodečným komponentem je vypočten použitím rovnice (6.12).

$$sc_{kj} = w_j \sum_{i=1}^n X_i \quad (6.12)$$

kde

$$\begin{aligned} X_i &= 0 \text{ (jestliže buď } P_{ij} \text{ nebo } CS_{ik} = 0) \\ &= 1 \text{ (jestliže } P_{ij} = 1, \text{ nebo } r_j \text{ a } CS_{ik} = 1) \\ &= 2 \text{ (jestliže } P_{ij} \neq 1 \text{ nebo } r_j \text{ a } CS_{ik} = 1) \end{aligned}$$

Vektor komponent s nejvyšším počtem transportů (sc_{kj}) je přiřazen zárodečnému vektoru komponent, tudíž doplňuje přiřazení komponent buňkám. Matice výskytu komponent nevypovídá

o objemu toku mezi buňkami (Nair a Narendran, 1998). Nezohledňuje sekvenci zpracování, ani opětovné zpracování na stejném stroji.

6.1.5.1.3 Testovací příklad (7 strojů a 4 výrobky)

Tabulka 6.1 zobrazuje pořadí a detaily k objemu výroby pro případ obsahující 7 strojů a 4 komponenty.

Komponenty	Stroje								Výrobní množství
		1	2	3	4	5	6	7	
	A	1	2	3	4				
	B		3	2	1		4		
	C			2	1		3	4	
	D				1	2	3	4	

Tabulka 6.1: Matice výrobků se sekvencí a vyráběným množstvím, (Nair a Narendran, 1998)

Výpočet podobnostního indexu mezi stroji za použití rovnice 6.11 je zobrazen v následující tabulce (6.2).

	1	2	3	4	5	6	7
1	-	0,8571	0,7272	0,5245	0	0	0
2		-	0,8888	0,7058	0	0,1276	0
3			-	0,7894	0	0,076	0,2
4				-	0,7058	0,8383	0,7142
5					-	0,851	0,923
6						-	0,9663
7							-

Tabulka 6.2: Matice podobnostních indexů strojů, (Nair a Narendran, 1998)

Z tabulky 6.2 je zřejmé, že střediska jsou identifikována jako (1,5) (1,6) (1,7) (2,5) (2,7) a (3,5).

Začneme-li střediskem (1,5) a přiřazením dalších strojů těmto střediskům, založených na největší hodnotě podobnostního indexu pro konfiguraci 2 buněk:

Středisko (1,5)

Buňka 1 = {1,2,3}
 Buňka 2 = {5,4,6,7}

Středisko (1,6)

Buňka 1 = {1,2,3}
 Buňka 2 = {6,4,5,7}

Středisko (1,7)

Buňka 1 = {1,2,3}
 Buňka 2 = {7,4,5,6}

Středisko (2,5)

Buňka 1 = {2,1,3}
 Buňka 2 = {5,4,6,7}

Středisko (2,7)

Buňka 1 = {2,1,3}
 Buňka 2 = {7,4,5,6}

Středisko (3,5)

Buňka 1 = {3,1,2,4}
 Buňka 2 = {5,6,7}

Z výše uvedeného vyplývají dva možné typy konfigurace buněk:

- 1) Buňka 1 = {1,2,3}
 Buňka 2 = {5,4,6,7} a
- 2) Buňka 1 = {1,2,3,4}
 Buňka 2 = {5,6,7}

Jestliže jsou zformovány strojní buňky, komponenty musí být přiřazeny buňkám tak, aby vytvořily rodiny. Počet transportů (sc_{kj}) každého vektoru komponent s každým zárodečným vektorem je vypočten použitím rovnice (6.12).

Konfigurace pro typ 1) - stroje a komponenty jsou uspořádány, viz obr. 6.4.

	Buňka 1	Buňka 2
Stroje	1,2,3	4,5,6,7
Komponenty	A,B	C,D

Obr. 6.4: Uspořádání strojů a komponent do skupin, (Nair a Narendran, 1998)

Matice stroj-komponenta s výrobním objemem je zobrazena v tabulce 6.3:

			Stroje						
Množství Komponenty [kusy]			1	2	3	4	5	6	7
	A	16	800	800	800	800			
	B	8		400	400	400		400	
	C	24			500	500		500	500
	D	42				1000	1000	1000	1000

Tab. 6.3: Matice stroj-komponenta a výrobní objem, (Nair a Narendran, 1998)

Celková hodnota toku mezi buňkami = 800 + 200 + 200 + 250 + 250 = 1700

Konfigurace pro typ 2) - stroje a komponenty jsou uspořádány viz obr. 6.5.

	Buňka 1	Buňka 2
Stroje	1,2,3,4	5,6,7
Komponenty	A,B	C,D

Obr. 6.5: Uspořádání strojů a komponent do skupin, (Nair a Narendran, 1998)

Matice stroj-komponenta s výrobním objemem je zobrazena v tabulce 6.4:

			Stroje						
Množství Komponenty [boxy]			1	2	3	4	5	6	7
	A	16	800	800	800	800			
	B	8		400	400	400		400	
	C	24			500	500		500	500
	D	42				1000	1000	1000	1000

Tab. 6.4: Matice stroj-komponenta a výrobní objem, (Nair a Narendran, 1998)

Celková hodnota toku mezi buňkami = 200 + 250 + 1000 = 1450

Je zřejmé, že konfigurace 2) buněk a strojů vykazuje menší transportní tok mezi buňkami než konfigurace 1) a je proto zvolena jako vhodnější řešení. Uvedená metoda je však citlivá na počáteční výběr střediska a nemusí vždy přinést nejlepší řešení, obzvláště když jsou uvažovány objemy výrobků. Rovněž výběr střediska se může v případě větších problémů stát zdlouhavým a

také může přinést jen sub-optimální či horší řešení. Proto lze vyslovit závěr, že metodu Naira a Narendrana nelze aplikovat na problémy větší šíře.

Model uspořádání strojových buněk publikovaný autory Won a Lee (Won a Lee, 2001)

Autoři Won a Lee k sekvenci uspořádání doplnili navíc objem výroby jednotlivých komponent, který má významný vliv na uspořádání (jak strojů, tak i komponent do buněk). Tato metoda je vhodná zejména pro problémy středního rozsahu, tj. pro problémy, kdy počet strojů a komponent nepřesahuje 13.

Model uspořádání strojových buněk dle Jaganathana (Jaganathan, 2007)

Model, navržený Jaganathanem v roce 2007 bere v úvahu všechny doposud uvedené nevýhody formace buněk, publikované ostatními autory. Jestliže použijeme tyto dřívější modely, uvedené autory (Nair a Narendran, 1998), (Won a Lee, 2001) pro výpočet mezibuněčných manipulací, je první z modelů citlivý na počáteční výběr středu plochy („těžiště plochy“) a nemusí vždy přinést nejlepší řešení. Druhý model se vyznačuje nejen chybovým mezibuněčným výpočtem, ale také nedostatečnou formací skupin. Při testování různých případů, kdy součást prochází jednou buňkou více než jedenkrát bylo zjištěno, že formulace nevypočte správný počet mezibuněčných toků. Proto je níže uvedena formulace pro minimalizaci mezibuněčných toků. V tomto modelu je jako primární vstup použit tok od stroje „ i “ k „ j “ pro každou součást.

6.1.5.1.4 Použité označení

n	počet komponent
m	počet strojů
p_{min}	minimální počet buněk
p_{max}	maximální počet buněk
r	index typu komponenty, $r = 1 \dots n$
i, j	index typu stroje
k	index buněk (rodin), $k = 1, \dots, p$
L_f	spodní limit velikosti rodiny komponent
U_f	horní limit velikosti rodiny komponent
L_c	spodní limit velikosti strojové buňky
U_c	horní limit velikosti strojové buňky
A	$= [a_{ri}]$, binární PMIM
	$a_{ri} = \begin{cases} 1 & \text{pokud } _komponenta_ "r" _vyžaduje_zpracování_na_stroji_ "i" \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$
n_r	celkový počet požadovaných operací vyžadovaných komponentou „ r “
d_r	výrobní množství pro komponentu „ r “
$TOTOP_k$	celkový počet operací v k -té buňce
NOP_k	celkový počet prostojů v k -té buňce

6.1.5.1.5 Metodika tvorby buněk

PMIM představuje sekvence operací a výrobní množství pro seskupování strojů do buněk a komponent do rodin. Tok v rámci buněk, nebo suma odlišných elementů jsou minimalizovány použitím matematického modelu. Model je formulován takto:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^{p_{\min}} \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq 1}^m (d_r * b_{ijr} * x_{ijrk}) / 2 \quad (6.13)$$

kde:

$$b_{ijr} = \begin{cases} 1_ \text{pokud_materiál_komponenty_} "r" _ \text{postupuje_ze_stroje_} "i" _ \text{ke_stroji_} "j" \\ 0_ \text{jinak} \end{cases}$$

$$x_{irk} = \begin{cases} 1_ \text{pokud_stroj_} "i" _ \text{komponenty_} "r" _ \text{náleží_do_bunky_} k \\ 0_ \text{jinak} \end{cases}$$

$$x_{jrk} = \begin{cases} 1_ \text{pokud_stroj_} "j" _ \text{komponenty_} "r" _ \text{náleží_do_bunky_} k \\ 0_ \text{jinak} \end{cases}$$

$$X_{ijrk} = |x_{irk} - x_{jrk}| \quad (6.14)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{rk} = 1 \quad r = 1, \dots, n \quad (6.15)$$

$$x_{rk} = \begin{cases} 1_ \text{pokud_komponenta_} "r" _ \text{náleží_do_bunky_} k \\ 0_ \text{jinak} \end{cases}$$

$$L_f \leq \sum_{r=1}^n x_{rk} \leq U_f \quad k = 1, \dots, p \quad (6.16)$$

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (6.17)$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1_ \text{pokud_stroj_} "j" _ \text{náleží_do_bunky_} k \\ 0_ \text{jinak} \end{cases}$$

$$L_c \leq \sum_{i=1}^m y_{ik} \leq U_c \quad k = 1, \dots, p \quad (6.18)$$

Rovnice (6.13) minimalizuje pohyb mezi buňkami pro libovolnou část konfigurace strojů. Rovnice (6.14) zajišťuje, že existuje pohyb uvnitř buněk mezi stroji pro každý výrobek. Zadaná omezení (6.15) a (6.17) zajišťují, že komponenta a stroj mohou být přiřazeny jen do jedné buňky. Omezení (6.16) a (6.18) pak omezují počet komponent a strojů, které mohou být přiřazeny jedné buňce.

Navržený model používá pohyb mezi buňkami jako kritérium pro účely seskupení; jednoduchá konfigurace buňky může být v každém případě optimální konfigurací. Z pragmatického hlediska to však nelze posuzovat jako proveditelné řešení. Proto je algoritmus spouštěn pro různé komponenty a stroje se 2 konfiguracemi, které jsou konfiguracemi minimálními. Navržený model je použit k výpočtu jak minimálního, tak maximálního počtu buněk, které mají být vytvořeny, založený na počtu strojů, který je zadán jako vstupní údaj. Omezení jsou také dána na počet strojů a počet komponent, které mohou být přiřazeny jedné buňce. Minimální počet strojů, nebo komponent, které mohou být přiřazeny jedné buňce nabývá hodnoty „2“ a maximální počet je omezen hodnotou „12“. V souladu s dosud v literatuře publikovanými pracemi je dodrženo, že jestliže počet strojů v buňce je více než 13, problém již spadá do kategorie problémů většího rozsahu. Aby byla zvýšena efektivita strojů a buněk, počet strojů i komponent v buňce je redukován na hodnotu „12“. Algoritmus výpočtu je následující:

6.1.5.1.6 Algoritmus

Krok 1: Začátek algoritmu

Krok 2: Zadání počtu strojů, m

Krok 3: Zadání počtu komponent, n

Krok 4: Pokud počet strojů $m \leq 24$ potom $L_{c_min} = 2, L_{c_max} = \frac{poč._strojů}{L_{c_min}}$

Dále pokračovat Krokem 6 jinak Krokem 5

(Zde algoritmus ověřuje, zda maximální počet strojů, které mohou být přiřazeny je 12)

Krok 5: Výpočet $L_{c_min} = \frac{poč._strojů}{12}, L_{c_max} = \frac{poč._strojů}{L_{c_min}}$

Krok 6: Pokud počet komponent $n \leq 24$ potom $L_{f_min} = 2, L_{f_max} = \frac{poč._komponent}{L_{f_min}}$

Dále pokračovat Krokem 8 jinak Krokem 7

(Zde algoritmus ověřuje, zda maximální počet komponent, které mohou být zadány, je 12)

Krok 7: Výpočet $L_{f_min} = \frac{poč._komponent}{12}, L_{f_max} = \frac{poč._komponent}{L_{f_min}}$

Krok 8: Nastavit min. počtu buněk $p_{min} = \max(L_{c_min}, L_{f_min})$

Krok 9: Nastavit max. počet buněk $p_{max} = \min(L_{c_max}, L_{f_max})$

Krok 10: Nastavit $L_f = L_{f_min}$ a $U_f = 12$

Krok 11: Nastavit $L_c = L_{c_min}$ a $U_c = 12$

Krok 12: Seskupit stroje použitím nové formulace GT.

Krok 13: Výpočet toků uvnitř buňky, Bond efektivity, MH nákladů

Krok 14: Zobrazení výsledků

Krok 15: Pokud $p_{min} = p_{max}$, pokračovat krokem 18, jinak pokračovat krokem 16.

Krok 16: Nastavit $p_{min} = p_{min} + 1$

Krok 17: Pokračovat krokem 9

Krok 18: Ukončení algoritmu

Poznámka: Pro L_{c_min} / L_{f_min} bude hodnota zaokrouhlena na nejbližší vyšší celé číslo (např. hodnota 2,3 bude zaokrouhlena na 3) a

pro L_{c_max} / L_{f_max} bude hodnota zaokrouhlena na nejbližší nižší celé číslo (např. hodnota 2,3 bude zaokrouhlena na 2).

6.1.5.1.7 Ukazatele porovnání variant výsledků

Aby bylo možné srovnat výsledné varianty uspořádání buněk s použitím navrženého algoritmu, je třeba využít ukazatelů, jako jsou *Kompaktnost* a *Bond efektivita* (Compactness, Bond efficiency). Zde se objevuje kompromis mezi tokem uvnitř buněk a kompaktností vytvořených buněk. Se vzrůstajícím počtem buněk se zvyšuje šance dosažení vyšší kompaktnosti, ale naproti tomu dochází k nárůstu toku uvnitř buněk. Proto obě hodnoty jsou vybrány jako kompromisní řešení.

Ukazatele Bond efektivity a Kompaktnosti zavedli už Nair a Narendran (1998) k porovnání efektivity toků uvnitř vytvořených buněk. Hlavní nevýhodou jimi zavedených ukazatelů však bylo, že nezahrnovaly ve své formulaci faktor výrobního množství. Z toho důvodu nelze tyto původní ukazatele uznat jako optimální pro požadované srovnání. Na základě toho metoda, navržená Jaganathanem (2007), byla doplněna o transformaci původních ukazatelů na ukazatele upravené, zahrnující již informaci o výrobním objemu.

6.1.5.1.8 Existující formulace Bond Efektivity (Bond efficiency)

$$\text{Bond efektivita } \beta = \frac{I(I-U)}{I} + \frac{(I-q) \sum_{k=1}^c \text{TOTOP}_k}{\sum_{k=1}^c (\text{TOTOP}_k + \text{NOP}_k)}$$

kde první ze zlomků výrazu představuje tok uvnitř buněk a druhý Kompaktnost.

$$I = \sum_{j=1}^n (r_j - 1); r_j = \max. \text{poč.}_{\text{operací}_{\text{komponenty}} \text{ } j}$$

$$U = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r_j-1} x_{l_{jk}}; x_{l_{jk}} = \begin{cases} 0 & \text{pokud operace } k, k+1 \text{ jsou provedeny ve shodné buňce} \\ 1 & \text{jinak} \end{cases}$$

Kompaktnost každé buňky je definována jako poměr počtu operací v buňce k maximálnímu počtu operací, které je v buňce možné provést.

6.1.5.1.9 Jaganathanova úprava formulace Bond efektivity

Upravená metoda výpočtu Bond efektivity, která minimalizuje toky mezi buňkami a maximalizuje hustotu hodnot „1“ je použita pro stanovení konfigurace buňky. Bond efektivity (β), rovnice (6.19) je definována jako vážený průměr GT efektivity (6.20) a Kompaktnosti (6.21).

$$\beta = \left(\frac{(I - U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} TOTOP_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (TOTOP_k + NOP_k)} \right) / 2 \quad (6.19)$$

ukazatel β je bezrozměrný a nezáporný.

GT efektivity (efektivita skupinové technologie) je definována jako poměr rozdílu mezi maximálním počtem transportů uvnitř buněk a počtem transportů uvnitř buněk aktuálně vyžadovaných systémem k maximálnímu možnému počtu transportů uvnitř buněk.

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I} \quad (6.20)$$

kde

$$I = \sum_{r=1}^n d_r (n_r - 1)$$

$$U = \sum_{r=1}^n \sum_{1}^{n_r-1} X_{ijr} d_r$$

Kompaktnost každé buňky je definována jako poměr počtu operací uvnitř buňky k maximálnímu počtu operací možných.

$$Kompaktnost = \frac{\sum_{k=1}^p TOTOP_k}{\sum_{k=1}^p (TOTOP_k + NOP_k)} \quad (6.21)$$

Pro preferovaný diagonální blok kompaktnost nabývá hodnoty „1“ a NOP_k nabývá hodnoty „0“.

6.1.5.1.10 *Vzájemné uspořádání buněk*

Jestliže jsou určeny počty buněk a počty strojů v nich, je nutné provést jejich vzájemné uspořádání na základě toků, které v nich probíhají. Kritériem tohoto uspořádání je objem materiálového toku, který mezi buňkami probíhá. Každá buňka může být považována za autonomní oddělení a toky, které mezi buňkami probíhají lze proto podle toho stanovit. Cílem je materiálový tok minimalizovat, tj. minimalizovat vzdálenosti mezi buňkami.

Uspořádání strojů uvnitř buněk

Dosažení cíle - redukce nákladů materiálových toků, závisí více na umístění strojů uvnitř buněk, než na relativním uspořádání buněk po výrobní ploše. Z toho plyne, že na umístění stroje uvnitř příslušné buňky je třeba dát důraz, protože stroj může být také vyžadován pro dokončení dané operace více než jednou buňkou, případně pro provedení nějaké mezioperace. Proto po identifikaci vazeb příslušného stroje, který má silné provázání (v tomto případě objem toku) se stroji jiných buněk, je určeno také umístění příslušných strojů uvnitř jejich příslušných layoutů. Tyto buňky jsou pak rozmístěny po prostoru výrobní plochy.

Algoritmus pro uspořádání

Princip tohoto algoritmu spočívá v tom, že se snaží zredukovat vzdálenosti, po kterých probíhá manipulace mezi stroji, v různých variantách uspořádání buněk (layoutech) umístěním těchto strojů ve vhodných lokacích v rámci buněk, do kterých spadají.

Tento algoritmus má 2 fáze:

1. Vytipování vhodných strojů
2. Přiřazení těchto strojů na optimální lokace

Vytipování vhodných strojů

Množina strojů, které jsou propojeny vazbami se sousedními buňkami, je identifikována a uvedena v prioritizovaném pořadí (v sestupném řazení). Tj. při vytváření tohoto seznamu je jako první na řadě stroj s nejvíce vazbami a dále se pokračuje v sestupném pořadí, dokud nejsou zahrnuty všechny objemy toků.

Přiřazení strojů optimálním lokacím

Poté, co je vytvořen výše uvedený seřazený seznam, jsou stroje přiřazeny optimálním lokacím. Při přiřazování strojů lokacím se začíná strojem s nejvíce vazbami (postupuje se dle seznamu). V tomto kroku se stává důležitou definice množiny lokací („kardinální“ a „triviální“ lokace) uvnitř

layoutu každé buňky, do které jsou tyto seřazené množiny strojů přiřazeny. Pravděpodobnost, že některý stroj zaujme tyto lokace, bude v zásadě ovlivněna typem vazeb, které jsou ustanoveny se stroji v ostatních buňkách a počty strojů zahrnuté do transportů mezi buňkami. Stroje, které mají ustanovené silné vazby pouze s těmi, které jsou uvnitř shodné buňky, budou spíše přiřazeny do triviálních lokací, protože tyto stroje nemají vliv, resp. nejsou zahrnuty do pohybů mezi buňkami. Pozice podél hranice každé buňky jsou označovány jako Kardinální lokace, protože tyto pozice jsou kompletně zaměřeny na zdroje, které mají silné vazby se stroji v jiných buňkách. Ze seznamu vhodných strojů jsou vybrány ty, které mají silné vazby se stroji (jedním nebo dvěma) v jiné buňce. Tyto stroje mohou být vhodně umístěny podél hranice dané buňky a je možné je umístit na kteroukoliv z kardinálních lokací.

Matematické vysvětlení je následující:

X_{inlk} – i –tý typ stroje výrobku „ n “, přiřazený l – té kardinální lokaci skupiny „ k “

X_{jnlq} – j –tý typ stroje výrobku „ n “, přiřazený l – té kardinální lokaci skupiny „ q “

Předpokládáme, že:

$j = i+1$ (tj. následující stroj, na kterém je výrobek „ n “ zpracováván po „ i “)

$q = k+1$ (tj. skupina, která obsahuje j -tý typ stroje)

X_{inlk} a X_{jnlq} jsou binární proměnné

N_{kn} je počet strojů v buňce, zahrnutý do aktivity mezi buňkami pro výrobek n

Z toho plyne:

jestliže $X_{inlk} = 1$, pak $X_{jnlq}, N_{qk} (1-y) N_{qk} - y$

y je binární rozhodovací proměnná

$$\sum_{m=1}^g \sum_{k=1}^h \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^o X_{inlk} = 1; \forall l$$

$$\sum_{l=1}^w X_{ijklm} = 1; \forall i, j, k, m$$

$$X_{inlk}, X_{jnlq}, y; \varepsilon \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \forall i, j, k, l, m$$

Body v rozích každé z buněk nabývají v procesu alokace příslušných strojů do optimálních lokací na důležitosti. Z prioritizovaných strojů jsou některé stroje, které mohou vytvářet silné vazby na stroje z ostatních buněk. Tyto stroje mají největší pravděpodobnost obsadit rohové pozice buněk. Například pokud stroj vytváří silnou vazbu se dvěma jinými stroji z odlišné buňky, nebo pokud 3 stroje ve 3 odlišných buňkách jsou aktivně zahrnuty do nějaké aktivity mezi buňkami, lze jednoduše dojít k závěru, že optimální lokace pro dva takové stroje může být např. jeden buď v některé z rohových pozic jejich buněk a druhý bude umístěn podél hranice buňky (nemusí být přímo v rohu, což závisí na pozici obou buněk vůči sobě). V případě čtyř buněk by všechny čtyři stroje, účastníci se transportu, měly být přiřazeny na rohové pozice jejich buněk. Nicméně všechny tyto uvedené případy závisí primárně na prioritě (velká či malá), která je přiřazena dané vazbě.

Jestliže $X_{inlk} = 1$, pak

$$\begin{aligned} \sum_{q=m+1}^g \sum_{i=1}^n \sum_{p=j+1}^z \sum_{l=1}^w X_{jnlq} &\leq \sum_{q=m+1}^g N_{qk} \\ \sum_{q=m+1}^g N_{qk} - \sum_{q=m+1}^g \sum_{i=1}^n \sum_{p=j+1}^z \sum_{l=1}^w X_{inlq} &\leq \sum_{q=m+1}^g N_{qk} \cdot y \forall \end{aligned} \quad (6.22)$$

$$X_{inlk} \leq \sum_{q=m+1}^g N_{qk} (1-y) \forall i, j, k, l, m \quad (6.23)$$

$$\sum_{m=1}^g \sum_{k=1}^h \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^o X_{inlk} = 1 \forall l \quad (6.24)$$

$$\sum_{l=1}^w X_{inlk} = 1 \forall i, j, k \quad (6.25)$$

$$X_{inlk}, X_{jnlq} \in \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \forall i, j, k, l, m \quad (6.26)$$

Soustavy rovnic (6.22) a (6.23) jsou omezující podmínky, které zajišťují, že dvojice strojů, která je zahrnuta do transportu mezi buňkami, bude přiřazena do kardinální lokace jejich příslušných layoutů. Omezující podmínky (6.24) a (6.25) zajišťují, že každá lokace může obsahovat pouze jeden stroj a každý stroj může být přiřazen pouze jedné lokaci. Omezující podmínka (6.26) deklaruje, že rozhodovací proměnné jsou binárního typu.

Argument se stává komplikovanějším, pokud produkt musí projít více než čtyřmi buňkami k tomu, aby se stal finálním produktem. Za použití navrženého algoritmu jsou prioritizované stroje umístěny v příslušných lokacích uvnitř jejich layoutu. Buňky jsou pak rozmístěny ve výrobním prostoru podniku. Jakmile je sestaven layout, lze vypočítat náklady na manipulaci s materiálem pro daný objem toku. Metodika pro formaci buněk a rozmístění strojů jsou dále vysvětleny na případové studii.

6.1.5.1.11 Testovací příklad (7 strojů a 4 komponenty)

Tabulka 6.5 zobrazuje sekvenci a vyráběné množství pro 7 strojů a 4 komponenty.

Komponenty	Stroje								Výrobní množství
		1	2	3	4	5	6	7	
	A	1	2	3	4				
	B		3	2	1		4		
	C			2	1		3	4	
	D				1	2	3	4	

Tab. 6.5: Matice výrobků se sekvencí a vyráběným množstvím (Jaganathan, 2007)

Výpočet počtu buněk

Postupný algoritmus výpočtu je uveden níže; vychází z algoritmu, navrženého autory Won a Lee (2001).

Počet strojů $m = 7$

Počet komponent $n = 4$

Dokud počet strojů $m \leq 24$, pak

$L_{c_min} = 2$, $L_{c_max} = (\text{počet strojů} / L_{c_min}) = 7/2 = 3,5$ /zaokrouhлено dolů/ = 3.

Dokud počet komponent $n \leq 24$, pak

$L_{f_min} = 2$, $L_{c_max} = (\text{počet komponent} / L_{f_min}) = 4/2 = 2$

Minimální požadovaný počet buněk $p_{min} = \text{Max}(L_{c_min}, L_{f_min}) = \text{Max}(2, 2)$

$p_{min} = 2$ (minimální požadovaný počet buněk)

Maximální požadovaný počet buněk $p_{max} = \text{Max}(L_{c_max}, L_{f_max}) = \text{Min}(3, 2)$

$p_{max} = 2$ (maximální požadovaný počet buněk)

Dosazení: $L_f = L_{f_min}$ a $U_f = 12$; v tomto případě $U_f = 4$

$L_f = 2$ a $U_f = 4$

Dosazení: $L_c = L_{c_min}$ a $U_c = 12$; v tomto případě $U_c = 4$

$L_c = 2$ a $U_c = 7$

Sekvenční parametr je dán použitím vzorce:

$$b_{ijr} = \begin{cases} 1 & \text{pokud } \text{objem_mat.toku_komponenty_}r \text{ smeruje od stroje } i \text{ k } j \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

Vynásobením výrobního objemu a sekvenčního parametru lze získat přesný objem materiálu, plynoucí mezi stroji. K tomuto výpočtu ještě přidáme uvedené množství v boxu.

d_r = výrobní množství komponenty „r“

Tedy:

$$d_r * b_{ijr}$$

Formace buněk

Objemy materiálu komponent A, B, C, D, které jsou transportovány mezi různými stroji, jsou uvedeny v tabulce (6.6).

Množství komponent [kusy]	Stroje (z -> na)												
			1->2	2->3	3->4	4->3	3->2	2->6	3->6	6->7	4->5	5->6	6->7
	A		800	800	800								
	B					200	200	200					
	C					250			250	250			
	D										1000	1000	1000

Tab. 6.6: Tok materiálu mezi stroji pro všechny výrobky [v kusech], (Jaganathan, 2007)

Tabulka 6.2 je zdrojem pro formaci buněk, prováděnou na základě minimalizace toku mezi buňkami, jakožto kritériem pro výběr, použitím rovnice (6.13):

$$\text{Min} \sum_{k=1}^{p_{\min}} \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq 1}^m d_r * b_{ijr} * x_{ijrk} / 2$$

Detailní uspořádání buněk, získané po aplikaci rovnice (6.13) je uvedeno v tabulce 6.7:

Množství Komponenty [kusy]	Stroje							
		1	2	3	4	5	6	7
	A	800	800	800	800			
	B		200	200	200		200	
	C			250	250		250	250
	D				1000	1000	1000	1000

Tabulka 6.7: Detailní uspořádání buněk, získané po aplikaci rovnice (6.13), (Jaganathan, 2007)

Přesun mezi buňkami je vypočten jako:

$$[(d_1/t_{r1})b_{121}X_{1211} + (d_1/t_{r1})b_{121}X_{1212} + (d_1/t_{r1})b_{231}X_{2311} + (d_1/t_{r1})b_{231}X_{2312} + (d_1/t_{r1})b_{341}X_{3411} + (d_1/t_{r1})b_{341}X_{3412} + (d_2/t_{r2})b_{432}X_{4321} + (d_2/t_{r2})b_{432}X_{4322} + (d_2/t_{r2})b_{322}X_{3221} + (d_2/t_{r2})b_{322}X_{3222} + (d_2/t_{r2})b_{262}X_{2621} + (d_2/t_{r2})b_{262}X_{2622} + (d_3/t_{r3})b_{433}X_{4331} + (d_3/t_{r3})b_{433}X_{4332} + (d_3/t_{r3})b_{363}X_{3631} + (d_3/t_{r3})b_{363}X_{3632} + (d_3/t_{r3})b_{673}X_{6731} + (d_3/t_{r3})b_{673}X_{6732} + (d_4/t_{r4})b_{454}X_{4541} + (d_4/t_{r4})b_{454}X_{4542} + (d_4/t_{r4})b_{564}X_{5641} + (d_4/t_{r4})b_{564}X_{5642} + (d_4/t_{r4})b_{674}X_{6741} + (d_4/t_{r4})b_{674}X_{6742}] / 2$$

$$= [(800*1*0) + (800*1*0) + (800*1*0) + (800*1*0) + (800*1*1) + (800*1*1) + (200*1*1) + (200*1*1) + (200*1*0) + (200*1*0) + (200*1*1) + (200*1*1) + (250*1*0) + (250*1*0) + (250*1*0) + (250*1*0) + (250*1*0) + (250*1*0) + (250*1*0) + (250*1*0) + (1000*1*0) + (1000*1*0) + (1000*1*0) + (1000*1*0) + (1000*1*0) + (1000*1*0)] / 2$$

Celkový součet transportů mezi buňkami = **1200**

Z výše uvedené hodnoty transportů mezi buňkami je zřejmé, že navržená metodika nezahrnuje jen přesný tok mezi buňkami, ale také efektivní seskupování, což je posun vpřed oproti předchozím přístupům autorů Nair a Narendran (1998) a Won a Lee (2001).

Měřítko efektivnosti

Aby bylo možné vyhodnotit efektivnost vytvořených buněk, je uvedeno na v předchozím odstavci uvedený testovací příklad použití měřitek, jako jsou Bond efektivita a Kompaktnost,

GT efektivita

GT Efektivita je definována jako poměr rozdílu mezi aktuálním počtem transportů mezi buňkami a maximálním možným počtem transportů k maximálnímu možnému počtu transportů možných (již bylo uvedeno výše).

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I}$$

kde

$$I = \sum_{r=1}^n \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = \sum_{r=1}^4 \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = ((800 * 3) + (200 * 3) + (250 * 3) + (1000 * 3)) = 6750$$

$$U = \sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^{n_r-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = \sum_{r=1}^4 \sum_{j=1}^{4-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = (1 * 800) + (2 * 200) = 1200$$

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I} = \frac{6750 - 1200}{6750} = 0,8222$$

Kompaktnost

Kompaktnost každé buňky je definována jako poměr počtu operací uvnitř buňky k maximálnímu počtu operací možných (opět již definováno výše).

$$Kompaktnost = \frac{\sum_{k=1}^p TOTOP_k}{\sum_{k=1}^p (TOTOP_k + NOP_k)} = \frac{(3+8)}{(3+8) + (1+2)} = 0,7857$$

Bond efektivita (β) je definována jako vážený průměr kompaktnosti a GT efektivity:

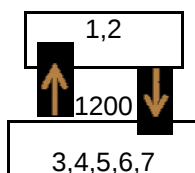
$$\beta = \left(\frac{(I-U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} TOTOP_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (TOTOP_k + NOP_k)} \right) / 2 = (0,8222 + 0,7857) / 2 = 0,8040$$

Protože maximální počet buněk ($p_{\max}$) možný pro výše uvedený případ je pouze 2, algoritmus v tomto bodě končí. Pokud by byl maximální počet buněk vyšší hodnota, pokračuje dále, dokud takové hodnoty není dosaženo; výpočet pokračuje stejným způsobem pro všechny konfigurace buněk.

Relativní uspořádání buněk

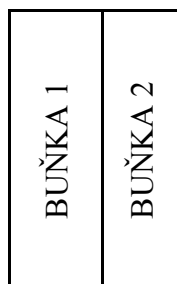
Protože počet buněk a strojů uvnitř jsou dány, další částí metodiky je uspořádat buňky a stroje uvnitř buněk v závislosti na vazbách, které jsou mezi nimi nastaveny. Počet transportů mezi buňkami v zásadě ustanovuje vzájemné postavení buněk. Každá buňka může být uvažována jako individuální oddělení a tok mezi nimi lze identifikovat použitím výběrovým grafem.

Pro konfiguraci o 2 buňkách



Obr. 6.6: Pohyb mezi buňkami, (Jaganathan, 2007)

Celkový počet transferů mezi buňkami je 100 (viz výpočet). Z výše uvedené závislosti, 2 buňky mohou být umístěny k sobě relativně tak, jak je zobrazeno na obr. 6.7.



Obr. 6.7: Uspořádání buněk, (Jaganathan, 2007)

Stroje uvnitř každé buňky vykazují závislost na sobě. Použití grafu z-do pro každou buňku je podmíněna závislost a zdroje jsou uspořádány tak, že výsledkem jsou snížené náklady na manipulaci.

Relativní umístění strojů uvnitř buněk

Závislosti mezi stroji a jejich relativní uspořádání v rámci jejich příslušných buněk jsou zobrazeny v tabulce 6.8 a 6.9

	1	2
1	0	50
2	0	0

1
2

Tabulka 6.8: Zobrazení Buňky 1, (Jaganathan, 2007)

	3	4	5	6	7
3	0	0	0	11	0
4	36	0	24	0	0
5	0	0	0	24	0
6	0	0	0	0	35
7	0	0	0	0	0

3	4	5	6	7
---	---	---	---	---

Tabulka 6.9: Navržený layout pro Buňku 2, (Jaganathan, 2007)

Přiřazení strojů na optimální lokace

Stroje, které jsou zařazeny do transferů mezi buňkami, jsou identifikovány v prioritizovaném pořadí (Tabulka 6.10). Umístění těchto strojů do příslušných lokací uvnitř jejich layoutu má významný vliv na náklady na manipulaci s materiálem v celém podniku.

Z - Do (Stroje)	Počet transportů mezi buňkami
2 na 3	50
2 do 6	25

Tabulka 6.10: Transfery mezi buňkami a stroji, (Jaganathan, 2007)

Jak vyplývá z navržené metodiky, stroje, zahrnuté do transferů mezi buňkami jsou přiřazeny do kardinálních lokací jejich buněk, což jsou lokace podél hranice každé z buněk, aby byla minimalizována vzdálenost pro manipulaci. Další stroje uvnitř každé buňky jsou přiřazeny triviálním lokacím jejich příslušného layoutu, což znamená, lokace jiné než kardinální, protože tyto stroje nemají vliv na náklady manipulace s materiálem mezi buňkami. Příslušné layouty pro konfiguraci 2 buněk byly změněny a v úvahu byla vzata míra transportu mezi buňkami a stroje, které se jí účastní. Jak lze zpozorovat z níže uvedených layoutů, stroje, zahrnuté do transferu mezi buňkami, zaujímají kardinální lokace v každé buňce a ostatní zaujímají triviální lokace.

Buňka 1

1
2

Obr. 6.8: Uspořádání buňky 1, (Jaganathan, 2007)

Buňka 2

4	5	
3	6	7

Obr. 6.9: Uspořádání buňky 2, (Jaganathan, 2007)

Výsledný layout lze reprezentovat, jak je uvedeno na obr. 6.10:

1	4	5	
2	3	6	7

Obr. 6.10: Výsledné uspořádání buněk, (Jaganathan, 2007)

Z layoutu, navrženého na obr. 6.10 je stroj 3 umístěn do kardinální lokace jeho buňky. Nicméně existují situace, kdy není možné umístit stroje, které se účastní transferu mezi buňkami, do kardinálních lokací jejich buněk. Jedná se o případy, kdy pokud by to bylo provedeno, dojde k narušení závislostí mezi stroji. Stroj 2 v layoutu 1 je zahrnut do transferu 800 jednotek s buňkou 3 layoutu 2 a 200 jednotek se strojem 6 v layoutu 2. Ale stroj 6 nemůže být umístěn na kardinální lokaci buňky, protože objem transferu uvnitř buňky mezi strojem 6 a strojem 5 je ve výši 1000 jednotek, což je mnohem více než pohyb mezi buňkami stroje 2 buňky 1. Algoritmus tedy provádí umístování zdrojů, zahrnutých do transferu mezi buňkami na kardinální lokace jen pokud nedochází k nepříznivému ovlivnění transferů uvnitř buněk.

7 ÚPRAVA A NÁVRH VHODNÉ METODIKY

7.1 ÚPRAVA MODELU PRO USPOŘÁDÁNÍ STROJOVÝCH BUNĚK (J-T MODEL)

Jaganathan ve svém modelu přidal do stávajícího výpočtu parametr, který zahrnuje vyráběné množství. Vyráběné množství sice vyjadřuje míru toku materiálu mezi buňkami, ale stále ještě není přesnou veličinou. Míra toku materiálu mezi buňkami závisí rovněž například na hmotnosti, ale snad nejvíce závislá je na velikosti dávek. V mnoha případech lze aplikovat filosofii „one piece flow“, kdy jsou transportována jednotková množství, ale v určitých provozech není toto řešení ani praktické, ani proveditelné. Proto do výpočtu je nutné přidat ještě další parametr, a to množství kusů v přepravním boxu:

t_r – množství komponenty r v jednom přepravním boxu.

Tento parametr bude v následujících kapitolách přidán do výpočtů a jejich výsledky porovnány s původními výsledky.

7.1.1 Aplikace upraveného modelu “Model j-t” uspořádání strojových buněk na testovací příklad

Použité označení

n	počet komponent
m	počet strojů
p_{min}	minimální počet buněk
p_{max}	maximální počet buněk
r	index typu komponenty, $r = 1 \dots n$
i, j	index typu stroje
k	index buněk (rodin), $k = 1, \dots, p$
L_f	spodní limit velikosti rodiny komponent
U_f	horní limit velikosti rodiny komponent

L_c	spodní limit velikosti strojové buňky
U_c	horní limit velikosti strojové buňky
A	$= [a_{ri}]$, binární PMIM
	$a_{ri} = \begin{cases} 1 & \text{pokud komponenta "r" vyžaduje zpracování na stroji "i"} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$
n_r	celkový počet požadovaných operací vyžadovaných komponentou „r“
d_r	výrobní množství pro komponentu „r“
$TOTOP_k$	celkový počet operací v k -té buňce
NOP_k	celkový počet prostojů v k -té buňce
t_r	množství komponenty r v jednom přepravním boxu

Sekvence, výrobní množství a počty kusů komponent na jeden transportní box pro 7 strojů a 4 výrobky je zobrazeno v tabulce 7.1.

Komponenty		Stroje							Výrobní množství	Množství kusů v transportním boxu	
			1	2	3	4	5	6			7
		A	1	2	3	4					
		B		3	2	1		4			
		C			2	1		3			4
		D				1	2	3			4

Tabulka 7.1: Matice výrobků se sekvencí, vyráběným množstvím a počty kusů v transportním boxu, (vlastní zpracování)

Výpočet počtu buněk

Postupný algoritmus výpočtu je uveden níže; vychází rovněž jako v případě Jaganathana z algoritmu navrženého autory Won a Lee (2001). Výsledky se tudíž shodují s výsledky předchozí kapitole.

Počet strojů $m = 7$

Počet komponent $n = 4$

Dokud počet strojů $m \leq 24$, pak

$$L_{c_min} = 2, L_{c_max} = (\text{počet strojů} / L_{c_min}) = 7/2 = 3,5 \text{ /zaokrouhleno dolů/} = 3.$$

Dokud počet komponent $n \leq 24$, pak

$$L_{f_min} = 2, L_{c_max} = (\text{počet komponent} / L_{f_min}) = 4/2 = 2$$

Minimální požadovaný počet buněk $p_{min} = \text{Max}(L_{c_min}, L_{f_min}) = \text{Max}(2, 2)$

$p_{min} = 2$ (minimální požadovaný počet buněk)

Maximální požadovaný počet buněk $p_{max} = \text{Max}(L_{c_{max}}, L_{f_{max}}) = \text{Min}(3, 2)$

$p_{max} = 2$ (maximální požadovaný počet buněk)

Dosazení: $L_f = L_{f_{min}}$ a $U_f = 12$; v tomto případě $U_f = 4$
 $L_f = 2$ a $U_f = 4$

Dosazení: $L_c = L_{c_{min}}$ a $U_c = 12$; v tomto případě $U_c = 4$
 $L_c = 2$ a $U_c = 7$

Sekvenční parametr je dán použitím vzorce:

$$b_{ijr} = \begin{cases} 1 & \text{pokud } _ \text{objem_mat.toku_komponenty_} "r" _ \text{smeruje_od_stroje_} "i" _ \text{ } "k" _ \text{ } "j" \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

Vynásobením výrobního objemu a sekvenční informace lze získat přesný objem materiálu, plynoucí mezi stroji. K tomuto výpočtu ještě přidáme nový parametr - množství v boxu.

d_r = výrobní množství komponenty „r“

t_r – množství komponenty r v jednom přepravním boxu

Tedy:

$$(d_r * b_{ijr}) / t_r$$

Formace buněk

Objemy materiálu komponent A, B, C, D, které jsou transportovány mezi různými stroji, jsou uvedeny v tabulce (7.2).

		Stroje (z -> na)											
Množství Komponenty [boxy]			1->2	2->3	3->4	4->3	3->2	2->6	3->6	6->7	4->5	5->6	6->7
	A	16	50	50	50								
	B	8				25	25	25					
	C	24				11			11	11			
	D	42									24	24	24

Tabulka 7.2: Znázornění toku materiálu mezi stroji pro všechny výrobky [v transportních boxech] (vlastní zpracování)

Tabulka 7.2 je zdrojem pro formaci buněk, prováděné na základě minimalizování toku mezi buňkami jako kritériem pro výběr, použitím j - t upravené rovnice (6.13), nyní (7.1):

$$\text{Min} \sum_{k=1}^{p_{\min}} \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq 1}^m \left(\frac{d_r}{t_r} \right) * b_{ijr} * x_{ijrk} / 2 \quad (7.1)$$

Výsledky výpočtů vzniklých z rovnic 6.13 a 7.1 jsou uvedeny v následujících tabulkách 7.3 a 7.4. Počet možností sestavení buněk je určen počtem kombinací pro zadanou testovací úlohu.

***Poznámka:** objem celkového toku mezi buňkami je v první tabulce uveden v kusech a v druhé tabulce v boxech, tj. jsou neporovnatelné a nejsou tedy určeny ke vzájemnému srovnání efektivity metod uspořádání buněk.*

	Buňka 1	Buňka 2	Celkový tok mezi buňkami [kusy]
1	2,4,6	1,3,5,7	6750
2	1,3,5	2,4,6,7	5750
3	1,4,6,	2,3,5,7	5750
4	3,5,7	1,2,4,6	5750
5	1,3,6	2,4,5,7	5500
6	2,4,7	1,3,5,6	5500
7	2,5,7	1,3,4,6	5250
8	4,6	1,2,3,5,7	4950
9	3,5,6	1,2,4,7	4700
10	3,6	1,2,4,5,7	4700
11	2,3,5	1,4,6,7	4500
12	3,5	1,2,4,6,7	4500
13	3,4,6	1,2,5,7	4450
14	1,3,7	2,4,5,6	4300
15	1,4,7	2,3,5,6	4300
16	2,3,6	1,4,5,7	4300
17	2,5,6	1,3,4,7	4300
18	2,6	1,3,4,5,7	4300
19	2,4,5	1,3,6,7	4250
20	2,4	1,3,5,6,7	4250
21	1,5,7	2,3,4,6	4050
22	2,5	1,3,4,6,7	4000
23	2,3,7	1,4,5,6	3750
24	3,7	1,2,4,5,6	3750
25	4,6,7	1,2,3,5	3700
26	1,2,6	3,4,5,7	3500
27	1,5,6	2,3,4,7	3500
28	3,4,7	1,2,5,6	3500

	Buňka 1	Buňka 2	Celkový tok mezi buňkami [kusy]
29	4,5,7	1,2,3,6	3500
30	1,3	2,4,5,6,7	3500
31	1,6	2,3,4,5,7	3500
32	4,7	1,2,3,5,6	3500
33	1,2,4	3,5,6,7	3450
34	3,6,7	1,2,4,5	3450
35	1,4,5	2,3,6,7	3300
36	2,7	1,3,4,5,6	3250
37	5,7	1,2,3,4,6	3250
38	1,2,5	3,4,6,7	3200
39	1,3,4	2,5,6,7	3050
40	2,6,7	1,3,4,5	3050
41	1,4	2,3,5,6,7	3050
42	4,5,6	1,2,3,7	2950
43	1,5	2,3,4,6,7	2800
44	5,6	1,2,3,4,7	2700
45	2,3	1,4,5,6,7	2500
46	1,2,7	3,4,5,6	2450
47	1,6,7	2,3,4,5	2250
48	2,3,4	1,5,6,7	2250
49	3,4,5	1,2,6,7	2250
50	3,4	1,2,5,6,7	2250
51	4,5	1,2,3,6,7	2250
52	1,7	2,3,4,5,6	2050
53	1,2,3	4,5,6,7	1700
54	5,6,7	1,2,3,4	1450
55	6,7	1,2,3,4,5	1450
56	1,2	3,4,5,6,7	1200

Min = 1200

Tabulka 7.3: Možnosti uspořádání buněk dle Jaganathana seřazené dle hodnoty toku mezi buňkami [v počtech kusů] (vlastní zpracování)

	Buňka 1	Buňka 2	Celkový tok mezi buňkami [boxy]		Buňka 1	Buňka 2	Celkový tok mezi buňkami [boxy]
1	1,3,5	2,4,6,7	330	29	1,4,5	2,3,6,7	171
2	2,4,6	1,3,5,7	305	30	4,6,7	1,2,3,5	170
3	1,3,6	2,4,5,7	295	31	1,3,4	2,5,6,7	160
4	2,4,7	1,3,5,6	295	32	2,6,7	1,3,4,5	160
5	2,4,5	1,3,6,7	260	33	1,4	2,3,5,6,7	160
6	2,4	1,3,5,6,7	260	34	4,5,6	1,2,3,7	157
7	1,4,6,	2,3,5,7	255	35	1,2,5	3,4,6,7	148
8	3,5,7	1,2,4,6	255	36	1,2,6	3,4,5,7	145
9	1,3	2,4,5,6,7	247	37	1,2,7	3,4,5,6	145
10	1,3,7	2,4,5,6	246	38	1,5,6	2,3,4,7	145
11	3,5,6	1,2,4,7	245	39	3,4,7	1,2,5,6	145
12	3,6	1,2,4,5,7	245	40	4,5,7	1,2,3,6	145
13	2,5,7	1,3,4,6	223	41	1,6	2,3,4,5,7	145
14	2,3,5	1,4,6,7	220	42	4,7	1,2,3,5,6	145
15	3,5	1,2,4,6,7	220	43	1,5,7	2,3,4,6	133
16	1,2,4	3,5,6,7	210	44	1,2,3	4,5,6,7	122
17	3,6,7	1,2,4,5	210	45	1,6,7	2,3,4,5	110
18	2,3,7	1,4,5,6	207	46	2,3,4	1,5,6,7	110
19	3,7	1,2,4,5,6	207	47	3,4,5	1,2,6,7	110
20	4,6	1,2,3,5,7	205	48	3,4	1,2,5,6,7	110
21	2,5	1,3,4,6,7	198	49	4,5	1,2,3,6,7	110
22	1,4,7	2,3,5,6	195	50	1,2	3,4,5,6,7	100
23	2,3,6	1,4,5,7	195	51	1,5	2,3,4,6,7	98
24	2,5,6	1,3,4,7	195	52	5,6	1,2,3,4,7	95
25	2,6	1,3,4,5,7	195	53	1,7	2,3,4,5,6	85
26	2,7	1,3,4,5,6	185	54	5,7	1,2,3,4,6	83
27	3,4,6	1,2,5,7	183	55	5,6,7	1,2,3,4	60
28	2,3	1,4,5,6,7	172	56	6,7	1,2,3,4,5	60

Min = 60

Tabulka 7.4: Možnosti uspořádání buněk dle modelu j-t seřazené dle hodnoty toku mezi buňkami [množství v počtech boxů] (vlastní zpracování)

Tabulky jsou seřazené od nejméně vhodného řešení k řešení nejvhodnějšímu. Z tabulek vyplývá kromě rozdílnosti pořadí variant především rozdílnost výsledků.

		Stroje						
Množství Komponenty [boxy]		1	2	3	4	5	6	7
	A	50	50	50	50			
	B		25	25	25		25	
	C			11	11		11	11
	D				24	24	24	24

Tabulka 7.5: Detailní uspořádání buněk, získané po aplikaci rovnice (7.1); [množství v počtech boxů] – varianta „55“ (vlastní zpracování)

		Stroje						
Množství Komponenty [boxy]		1	2	3	4	5	6	7
	A	50	50	50	50			
	B		25	25	25		25	
	C			11	11		11	11
	D				24	24	24	24

Tabulka 7.6: Detailní uspořádání buněk, získané po aplikaci rovnice (7.1); [množství v počtech boxů] – varianta „56“ (vlastní zpracování)

Měřítka efektivnosti

Měřítka Bond efektivity a Kompaktnosti zde budou použita pro stanovení, zda některá z nalezených variant, tj. „55“, nebo „56“, je výhodnější.

7.1.1.1.1 GT efektivita

Výpočet GT Efektivity je uveden z formálního důvodu, slouží vlastně výpočtu již známých hodnot – maximální a minimální hodnotě toku mezi buňkami, které lze zjistit z tabulek 7.3 a 7.4.

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I}$$

Výpočet pro variantu „55“

$$I_{55} = \sum_{r=1}^n \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = \sum_{r=1}^4 \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = ((50 * 3) + (25 * 3) + (11 * 3) + (24 * 3)) = 330$$

$$U_{55} = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^{n_r-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^{4-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = (1*25) + (1*11) + (1*24) = 60$$

$$GT_efektivita_{55} = \frac{I-U}{I} = \frac{330-60}{330} = 0,8182$$

Výpočet pro variantu „56“

$$I_{56} = \sum_{r=1}^n \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = \sum_{r=1}^4 \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = ((50*3) + (25*3) + (11*3) + (24*3) = 330$$

$$U_{56} = \sum_{r=1}^n \sum_{i=1}^{n_r-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = \sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^{4-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = (1*25) + (1*11) + (1*24) = 60$$

$$GT_efektivita_{56} = \frac{I-U}{I} = \frac{330-60}{330} = 0,8182$$

7.1.1.1.2 Kompaktnost

Výpočet pro jednotlivé varianty „55“ a „56“

$$Kompaktnost_{55} = \frac{\sum_{k=1}^p TOTOP_k}{\sum_{k=1}^p (TOTOP_k + NOP_k)} = \frac{(7+5)}{(7+5) + (1+1)} = 0,8571$$

$$Kompaktnost_{56} = \frac{\sum_{k=1}^p TOTOP_k}{\sum_{k=1}^p (TOTOP_k + NOP_k)} = \frac{(7+4)}{(7+4) + (3+0)} = 0,7857$$

7.1.1.1.3 Bond efektivita

$$\beta_{55} = \left(\frac{(I-U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} TOTOP_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (TOTOP_k + NOP_k)} \right) / 2 = (0,8182 + 0,8571) / 2 = 0,83765$$

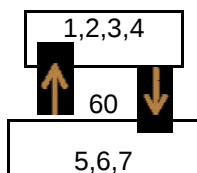
$$\beta_{56} = \left(\frac{(I-U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} TOTOP_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (TOTOP_k + NOP_k)} \right) / 2 = (0,8182 + 0,7857) / 2 = 0,80195$$

Při porovnání hodnot bond efektivity je zřejmé, že verze uspořádání „55“ dosahuje vyšší hodnoty, tj. toto uspořádání buněk je efektivnější. Vypočtenou hodnotu 0,83765 lze srovnat s hodnotou vypočtenou Jaganathanem (kapitola 6.1.5.1.12), která dosahovala výsledku „jen“ 0,8040. Toto srovnání je jen orientační, protože závisí přímo úměrně především na parametru počtu kusů, resp. počtu boxů, nicméně vypovídá o tom, které řešení je pro hodnoty, zadané konkrétní úlohou, „přiléhavější“.

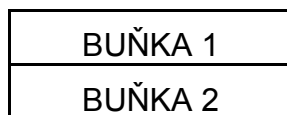
Relativní umístění buněk

Protože počty buněk a strojů uvnitř jsou určeny, další částí metodiky je uspořádat buňky a stroje uvnitř buněk v závislosti na vazbách, které jsou mezi nimi nastaveny. Počet transportů mezi buňkami v zásadě ustanovuje vzájemné postavení buněk. Každá buňka může být uvažována jako individuální oddělení a tok mezi nimi lze identifikovat použitím výběrového grafu.

Pro konfiguraci o 2 buňkách je celkový počet transferů mezi buňkami roven hodnotě 60 (viz obr. 7.1)). Z výše uvedené závislosti, 2 buňky mohou být umístěny k sobě relativně tak, jak je zobrazeno na obr. 7.2.



Obr. 7.1: Pohyb mezi buňkami, (vlastní zpracování)



Obr. 7.2: Uspořádání buněk, (vlastní zpracování)

Stroje uvnitř každé buňky vykazují na sobě rovněž závislost. Použití schématu „ze“ (stroje) – „na“ (stroj) pro každou buňku je podmíněna závislost a zdroje jsou uspořádány tak, že výsledkem jsou snížené náklady na manipulaci.

Relativní umístění strojů uvnitř buněk

Závislosti mezi stroji a jejich relativní uspořádání v rámci jejich příslušných buněk jsou zobrazeny v tabulce 7.7 a 7.8. (Stroj, uvedený v označení sloupce je stroj, na který množství směřuje, zatímco stroj uvedený v označení řádku je stroj, ze kterého množství odchází). Návrh layoutu je proveden na základě výchozího rozvržení, tj. s uvažováním transportu pouze mezi buňkami.

	1	2	3	4
1	0	50	0	0
2	0	0	50	0
3	0	25	0	50
4	0	0	36	0

Tabulka 7.7: Schéma „ze stroje-na stroj“ pro buňku 1, (vlastní zpracování)

1	2	3	4
---	---	---	---

Obr. 7.3: Navržený výchozí layout buňky 1, (vlastní zpracování)

	5	6	7
5	0	24	0
6	0	0	35
7	0	0	0

Tabulka 7.8: Schéma „ze stroje-na stroj“ pro buňku 2, (vlastní zpracování)

5	6	7
---	---	---

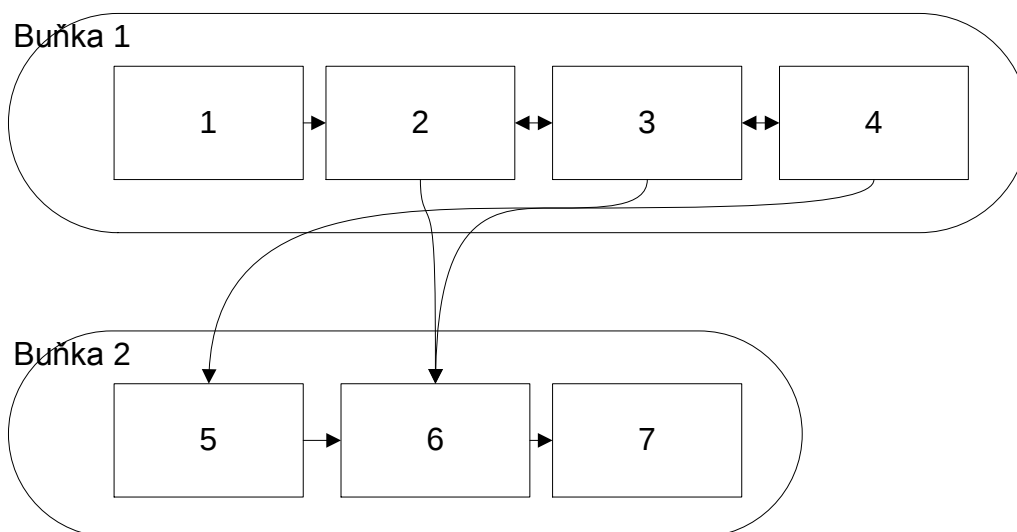
Obr. 7.4: Navržený výchozí layout buňky 2, (vlastní zpracování)

Přiřazení strojů na optimální lokace

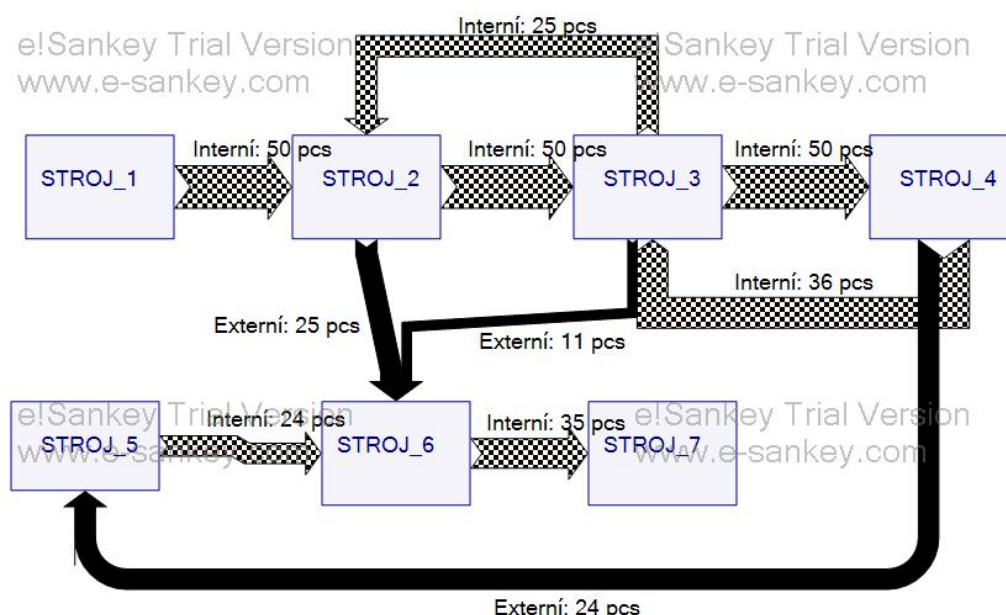
Stroje, které jsou zařazeny do transferů mezi buňkami, jsou identifikovány v prioritizovaném pořadí (tabulka 7.9). Umístění těchto strojů do příslušných lokací uvnitř jejich layoutu má významný vliv na náklady na manipulaci s materiálem v celém podniku.

ze (stroje) - na (stroj)	Počet transportů mezi buňkami [boxy]
ze 2 na 6	25
ze 4 na 5	24
ze 3 na 6	11

Tabulka 7.9: Transporty mezi buňkami a stroji, (vlastní zpracování)



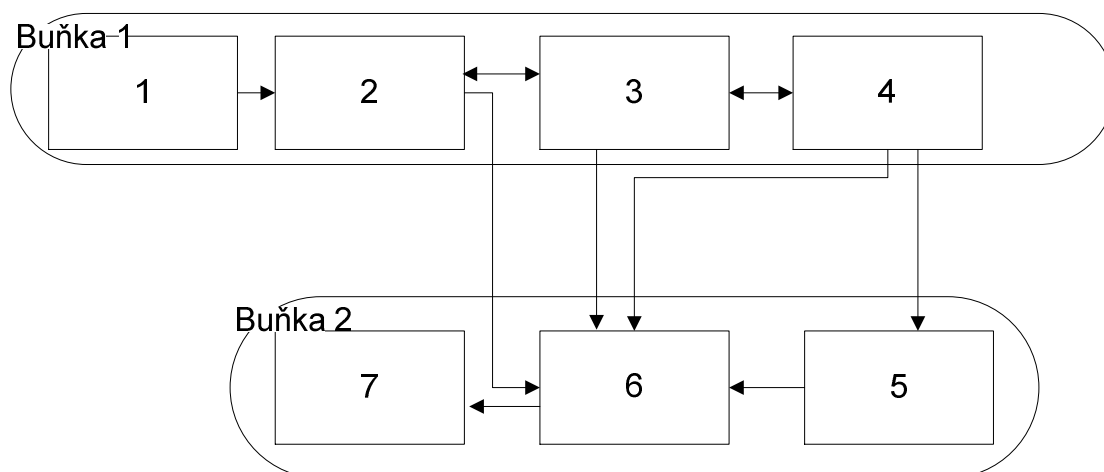
Obr. 7.5: Schematické znázornění transportů mezi stroji v buňkách – výchozí uspořádání, (vlastní zpracování)



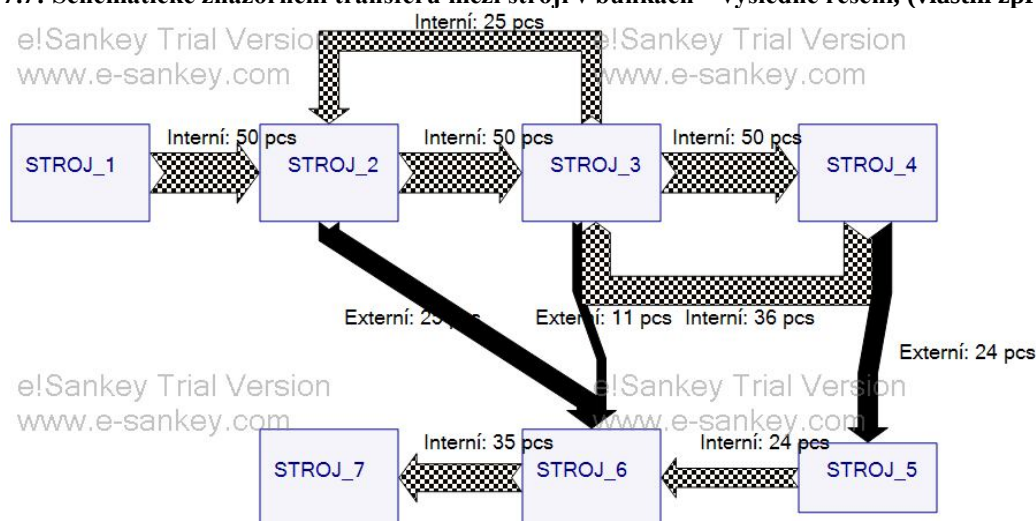
Obr. 7.6: Sankeyův diagram transportů mezi stroji v buňkách – výchozí uspořádání, (vlastní zpracování)

Jak vyplývá z navržené metodiky, stroje, zahrnuté do transferů mezi buňkami je nutné přiřadit do kardinálních lokací jejich buněk, což jsou lokace podél hranice buněk, aby byla minimalizována vzdálenost pro manipulaci. Další stroje uvnitř jednotlivých buněk jsou přiřazeny triviálním lokacím jejich příslušného layoutu, což znamená, lokace jiné než kardinální, protože tyto stroje nemají vliv na náklady manipulace s materiálem mezi buňkami. Příslušné layouty pro konfiguraci 2 buněk byly změněny a v úvahu byla vzata míra transportu mezi buňkami a stroje, které se jí účastní. Jak lze zpozorovat z výsledných layoutů, stroje, zahrnuté do transferu mezi buňkami, zaujímají kardinální lokace v každé buňce a ostatní zaujímají triviální lokace.

Výsledný, takto uspořádaný layout je zobrazen na obr. 7.7 a 7.8.



Obr. 7.7: Schematické znázornění transferů mezi stroji v buňkách – výsledné řešení, (vlastní zpracování)



Obr. 7.8: Sankeyův diagram transferů mezi stroji v buňkách – výsledné uspořádání, (vlastní zpracování)

8 APLIKACE METODIKY NA PŘÍPADOVOU STUDII

8.1 POPIS SOUČASNÉHO STAVU LOGISTICKÉHO SYSTÉMU PODNIKU

Uvedená případová studie se zabývá problematikou logistického toku v konkrétním podniku, který dodává komponenty pro automobilový průmysl. Výrobky tohoto podniku jsou elektronické navigační jednotky, kterými po připojení do celkového systému elektroniky osobního vozu je možné obvykle ovládat více funkcí vozidla, jako jsou navigace, audiosoustava, videosoustava a nastavení některých parametrů vozidla, jako jsou např. tuhost odpružení či volba režimu převodovky.

Podnik je jednou z jednotek mezinárodního koncernu a počet zaměstnanců je cca 1000 osob. Navigační jednotky jsou dodávány do celkem 17-ti závodů jednotlivých zákazníků. Průměrné

měsíční počty kusů zobrazuje tabulka 8.1. Z těchto měsíčních hodnot lze vypočítat roční výrobní množství, které se tedy pohybuje okolo 1,7 milionu kusů.

Zákazník	Počet odebraných kusů
	měsíčně
Z1	16 487
Z2	11 806
Z3	27 302
Z4	20 945
Z5	4 918
Z6	6 810
Z7	696
Z8	672
Z9	672
Z10	672
Z11	5 721
Z12	5 721
Z13	33 575
Z14	2 868
Z15	53
Z16	2 868
Z17	4 673
CELKEM	146 458

Tabulka 8.1: Orientační počty dodávaných kusů za měsíc, (vlastní zpracování)

8.1.1 Procesy zpracování objednávek, řízení výroby, nákupu a skladování

Dodávky zákazníkům jsou realizovány dle individuálních požadavků zákazníků. Žádný ze zákazníků v současné době nepožaduje přímé dodávky za použití systému JIT a to zejména proto, že jednotky se dodávají na montážní linku automobilky převážně jako součást palubní desky, která je kompletována v přípravné fázi ve skladově-výrobních jednotkách, umístěných ve fyzické blízkosti automobilky, provozovaných buď automobilkou samotnou, anebo třetí stranou (další firmou).

Co se týče frekvence dodávek zákazníkům, přesné pravidlo uvést nelze; jediné možné vyjádření by byl statistický histogram četnosti dodávek (shipmentů). Opět dle individuálních požadavků zákazníků si buď zákazník zajišťuje vlastní dopravu (obvykle se jedná o kamiony, které mají přesně termínovanou trasu a „sbírají“ více jednotlivých komponent u jednotlivých dodavatelů v dané oblasti), anebo zákazník určuje obvyklým způsobem termín dodání (v rámci měsíce fixní) na místo dodání (tj. na adresy skladově-výrobních jednotek, uvedených výše). Dle dodávaných množství (viz tabulka 5.1) je zřejmé, že exporty jednotek s velkým dodávaným objemem probíhají téměř na denní bázi, zatímco jednotky s malým objemem jsou exportovány sporadicky, obvykle na konkrétní požadavek, protože se jedná obvykle o modely, montované do vozidel, která se vyrábí v menších sériích, případně se jedná o doplňkovou výbavu k výbavě standardní a v neposlední řadě také starší verze modelů, sloužící jako náhradní díly pro prodejce a servisní organizace.

Požadavky zákazníka jsou předávány obvykle s předstihem šesti měsíců (výhled, zahrnující předpokládaný odběr počtu kusů výrobků), který je pevně fixován jedenkrát měsíčně (15. den

předchozí měsíc). Po zafixování se již počty požadovaných kusů nemění a tento plán je tedy závazným podkladem pro přípravu kapacitního vytížení podniku na daný měsíc.

Informační tok je realizován pomocí elektronické komunikace, tj. e-mail a EDI. Konkrétně, jen jeden ze zákazníků používá k plánování dodávek webové rozhraní EDI, kde jsou průběžně (na denní bázi) aktualizovány požadavky na dodané množství, požadavky ostatních zákazníků vyplývají přímo z fixovaného měsíčního plánu dodávek, tj. exporty zboží probíhají dle tohoto plánu. Pokud nastanou jakékoliv operativní změny (mírné urychlení či pozdržení dodávky, případně rozdělení dodávky do více zásilek – na základě podnětu zákazníka i podniku), jsou informovány již operativními prostředky komunikace – telefon, e-mail. Při všech operativních změnách však stále platí, že počty kusů, fixované v plánu se nemění.

Objednávky zákazníka jsou zadány do informačního systému podniku (MRP) a na jejich základě a na základě kusovníků jsou generovány potřeby na objednávky materiálu. Do systému MRP je zadán již zmíněný půlroční výhled, podle kterého je materiál v případě, že jeho dodací lhůta přesahuje 1 měsíc (a tyto materiály používány jsou, jedná se zejména o lodní dodávky z Asie) přímo objednán. Existuje samozřejmě riziko zastarání materiálu a také jeho eventuální přebytek či nedostatek při následných výkyvech objednaného množství. Nicméně tato praxe existuje. Na druhou stranu je nutno říci, že změnová řízení samozřejmě probíhají s ohledem na množství již nakoupeného materiálu v zásobách a jejich nejobvyklejší strategie je plynulý přechod, tedy až je spotřebováno celé množství „starého“ materiálu.

Dodávky dodavatelů probíhají dle požadavků na nákup, generovaných systémem a zpracovaných zaměstnanci oddělení nákupu do formy objednávek, které jsou posuzovány, schvalovány a odesílány dodavatelům. Strategie termínování dodávek probíhá v zásadě dle ABC analýzy. Dodávky materiálu typu „B“ a „C“ jsou obvykle požadovány tak, aby bylo kompletní množství na celý měsíc dodáno nejpozději 1. den v měsíci. U materiálu typu „A“ a některých materiálů typu „B“, které jsou velkorozměrové (velkoobjemové) dodávky probíhají na základě pravidelného sledování položky nákupčím materiálu.

Podnik používá ke skladování dva sklady, interní (přímo v podniku) a z důvodu nedostatečné kapacity interního skladu také sklad externí (mimo podnik). Dodaný materiál je uložen prioritně do externího skladu, kde také probíhá vstupní kontrola materiálu (je-li pro daný materiál předepsána). Materiály, označené jako „drobný materiál“ a materiály, které vstupní kontrole nepodléhají a jsou urgentní dodávkou, jsou dodávány přímo do interního skladu. Speciálním typem dodávek jsou dodávky z externí kooperace a outsourcingu. Jako externí kooperace jsou označováni dodavatelé, kteří se podílí na výrobních procesech tak, že jejich procesy jsou „uprostřed“ materiálového toku, tj. podnik na začátku vyrobí polotovary, které jsou odvezeny do kooperace ke zpracování a následně přivezeny zpět do podniku a zpracovávány dále do formy finálního produktu. Jako outsourcing jsou označeny dodavatelé, kteří provádí operace, které jsou v pořadí na začátku procesu, obdobně jako běžní dodavatelé, ale jsou jim dodávány součástky k výrobě těchto polotovarů.

8.1.2 Výrobní a kontrolní procesy

Plánování výroby probíhá shodně s plánováním dodávek zákazníkům, tj. na základě fixního měsíčního plánu, který je k dispozici do 15. dne předchozího měsíce je celý plán rozdělen na jednotlivé linky a dny (resp. směny) a v druhé polovině měsíce je tedy ještě prostor k zajištění příslušných kapacit (úpravy zařízení, změny v počtech výrobních, případně i nevýrobních zaměstnanců).

Na základě výrobního plánu, zadaného do systému MRP, je příslušný materiál, potřebný k výrobě plánovaných výrobků, naskladňován do interního skladu. Dodávky materiálu z externího do interního skladu jsou kapacitně synchronizovány se spotřebou materiálu ve výrobě.

Základními komponentami výrobků jsou desky plošných spojů s konektory a propojovacími vodiči, optické mechaniky, velkorozměrový displej, plechová šasi a příslušný spojovací a drobný materiál.

Hlavními technologickými operacemi jsou:

1. Osazování desek plošných spojů technologií povrchové montáže (linky SMT)
2. Dokončení desek pomocí ručního osazování s použitím jednoduchých přípravků (linky PCB) + Strojní zapájení součástek v pájecí vlně + Testování hotových desek pomocí jednoduchých elektrických měřicích zařízení
3. Ruční montáž s použitím jednoduchých přípravků (linky UNIT) + Testování hotových výrobků pomocí počítačem řízených měřicích stanic
4. Inspekce (testy) hotových výrobků v teplotní komoře

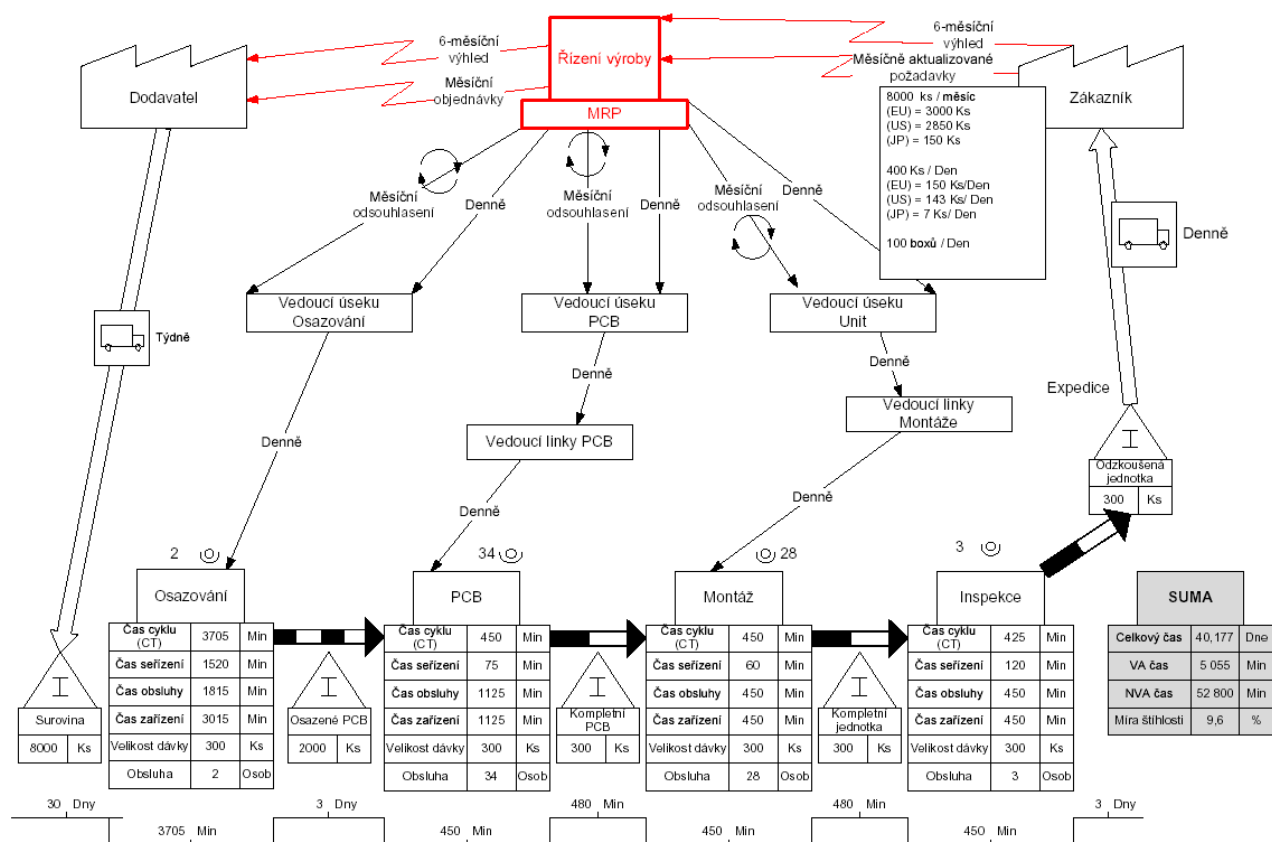
Výrobní proces probíhá dle výše uvedeného denního plánu, který je detailně rozpracován pro všechny jednotlivé výrobní procesy s výjimkou testování výrobků v teplotní komoře, kde jsou testovány jen vybrané výrobky, a to na základě přímého požadavku zákazníka, nebo na základě statistických údajů oddělení kvality.

Ad 1) Celý logistický proces je znázorněn na obrázku 8.1. Na operaci osazování jsou vstupním materiálem nakoupené součástky. Součástky jsou odebírány ve skladu pracovníky oddělení osazování na základě kusovníků pro daný výrobek a v systému jejich přesun ze skladu do oddělení výroby odhlašován jako odebrané manuálním způsobem, obvykle jako materiál pro určité množství finálního výrobku. Osazovací stroje jsou technologicky podobné, tedy obecně zaměnitelné, ale z praktického hlediska není nutné ani vhodné, aby byl každý stroj k dispozici jako univerzální pro libovolný polotovár. V tabulce 8.2 jsou uvedena přiřazení jednotlivých strojů jednotlivým procesům, tj. tyto stroje byly vyzkoušeny a jsou technologicky připraveny na výrobu uvedených výrobků. V praxi odzkoušení a seřízení představuje drobné odlišnosti v nastavení, které se liší u technologicky (především vývojově) různých typů desek PCB.

Monthly Qty	Line	SMT	Radial	Glue	MAIN-PCB	AMP	ESC	UNIT					
J1	814	S1,S2 S1,S2	S3015Y S9470Z	R1 ---	RS3015Y S1,S2	GRS3015Y GS9470Z	P2 ---	PGRS3015Y ---	331 P3	PGS9470Z	U2	J1U J1U	
J2	0	S1,S2 S1,S2	S9201Y S8574Z	R1 ---	RS9201Y ---	S1,S2 ---	P4 ---	PRS9201Y ---	332 P4	PS8574Z	U2	J2U J2U	
J3	0	S1,S2 S1,S2	S9201Z S8574Z	R1 ---	RS9201Z ---	S1,S2 ---	P4 ---	PRS9201Z ---	333 P4	PS8574Z	U2	J3U J3U	
J4	669 497 0 0	S1,S2 S1,S2	S8695Z S8681A	R1 ---	RS8695Z ---	S1,S2 GS8681A	P7 ---	PRS8695Z ---	323 ---	333	403	J4U J4U	
J5	200 0 0 0	S1,S2 S1,S2	S8372Z S8378Z ---	R1 ---	RS8372Z ---	S1,S2 GS8378Z ---	P7 ---	PRS8372Z ---	P7 P2621Z	---	U9 U9	J5U J5U J5U	
J6	47	S1,S2	S0037A	---	---	---	304 P7	PS0037A	---	---	U7	J6U	
J7	1 004	O7 S3,S4	S6982Y S9415Y	O7 ---	RS6982Y ---	O7 GRS6982Y ---	---	---	335 P2	PS9415Y	U1	J7U J7U	
J8	17 124	O7 S3,S4	S6982Z S9415Z	O7 ---	RS6982Z ---	O7 GRS6982Z ---	---	---	P2	PS9415Z	U1	J8U J8U	
J9	0	O7 S3,S4	S6982W S9415W	O7 ---	RS6982W ---	O7 GRS6982W ---	---	---	P2	PS9415W	U1	J9U J9U	
J10	27	O7 S3,S4	S6982X S9415X	O7 ---	RS6982X ---	O7 GRS6982X ---	---	---	P2	PS9415X	U1	J10U J10U	
J11	11	S3,S4 S3,S4	S9143Z S9144Z	R1 ---	RS9143Z ---	---	306 P4 P4	PRS9143Z PS9144Z	336	---	U2	J11U J11U	
J12	14 671	S3,S4 S3,S4	S3035Z S9552Z	R2 ---	RS3035Z ---	S3,S4 S3,S4	GRS3035Z GS9552Z	P2 ---	PGRS3035Z ---	---	U5	J12U J12U	
J13	96 0	S3,S4 S3,S4 S3,S4	S3,S4 S0028X S0029X S0025Y	R2 R2	RS0028X RS0029X	S3,S4 S3,S4	GRS0028X ---	P7 GS0025Y	328 P13	PR0029X	U6	J13U J13U	
J14	0 0	S5,S6 S5,S6	S0035A S0036A	---	R2 ---	S5,S6 S5,S6	---	P13 GS0036A	308 ---	---	U6	J14U J14U	
J15	1 377 1 211	S5,S6 S5,S6	S0035A S0050A	---	---	S5,S6 ---	---	P13 GS0050A	---	---	U6	J15U J15U	
J16	379 2 063	S5,S6 S5,S6	S0044A S0045A	---	---	S5,S6 ---	---	P13 GS0045A	---	---	U6	J16U J16U	
J17	2 850	S5,S6 S5,S6 S5,S6	S0023Y S0026B	R2 ---	RS0023Y ---	S5,S6 S5,S6	---	309 P1	PRS0023Y ---	339 P14	PGS0026B	U8 U8	J17U J17U
J18	3 000	S5,S6 S5,S6 S5,S6	S0023Z S0026A	R2 ---	RS0023Z ---	S5,S6 S5,S6	---	P1 GS0026A	PRS0023Z ---	P14	PGS0026A	U8 U8	J18U J18U
J19	150	S5,S6 S5,S6	S0023X S0026B	R2 ---	RS0023X ---	S5,S6 S5,S6	---	P1 GS0026B	PRS0023X ---	P14	PGS0026B	U8 U8	J19U J19U
J20	321 0	S5,S6 S5,S6	S0030Y S0038B	R2 ---	RS0030Y ---	S5,S6 S5,S6	---	310 P1	PRS0030Y ---	340 P14	PGS0038B	U8 U8	J20U J20U
J21	4 968	S5,S6 S5,S6	S0042A S0043A	---	---	---	---	311 P7	PS0042A ---	321 ---	341 P7	411 U7	J21U J21U
J22	923	S5,S6 S5,S6	S0042B S0043A	---	---	---	---	P7 ---	PS0042B ---	---	P7	U7 U7	J22U J22U
J23	87	O11 S5,S6 S5,S6	S0020A S0021Z S0043A	---	---	---	---	O11 ---	PS0020A ---	P8 PS0021Z	---	U12 U12	J23U J23U
J24	0	O11 S5,S6 S5,S6	S0020B S0021Z S0043A	---	---	---	---	O11 ---	PS0020B ---	P8 PS0021Z	---	U12 U12	J24U J24U
J25	0	O11	S0020C	---	---	---	---	O11	PS0020C	---	---	U12	J25U

			S5,S6 S5,S6	S0021Z S0043A	---	---	---		P8	PS0021Z		P8	PS0043A	U12 U12	J25U J25U		
J26	10 138		O11 S5,S6 S5,S6	S0020D S0021Z S0043A	---	---	---	O11	PS0020D		P8	PS0021Z		U12 U12 U12	J26U J26U J26U		
J27	0		S7,S8 S7,S8 S7,S8	S0047A S0046A S0052Z	R2 ---	RS0047A ---	S7,S8 ---	GRS0047A GS0052Z	P7	PGRS0047A		P7	PS0046A		U9 U9 U9	J27U J27U J27U	
J28	4 056		S7,S8 S7,S8 S7,S8	S0047B S0046A S0052Z	R2 ---	RS0047B ---	S7,S8 ---	GRS0047B GS0052Z	P7	PGRS0047B		P7	PS0046A		U9 U9 U9	J28U J28U J28U	
J29	119		S7,S8 S7,S8 S7,S8	S0051Z S0053Z S0052Z		RS0051Z ---	S7,S8 ---	GRS0051Z GS0052Z	P7	PGRS0051Z		P7	PS0053Z		U9 U9 U9	J29U J29U J29U	
J30	0 0		S7,S8 S7,S8 S7,S8	S0051Z 0054Z S0052Z		RS0051Z ---	S7,S8 ---	GRS0051Z GS0052Z	P7	PGRS0051Z		P7	PS0054Z		U9 U9 U9	J30U J30U J30U	
J31	4		S7,S8 S7,S8	S3023Z S9110W	R3 ---	RS3023Z ---	---	312 P11	PRS3023Z				342 P12		U4 U4	J31U J31U	
J32	245		S7,S8 S7,S8	S3023Z S9110V	R3 ---	RS3023Z ---	---	P11	PRS3023Z				P12	PS9110V	U4 U4	J32U J32U	
J33	1 697		S7,S8 S7,S8	S3119Y S9740X	R3 ---	RS3119Y ---	---	P11	PRS3119Y				P12	PS9740X	U4 U4	J33U J33U	
J34	6 020		S7,S8 S7,S8	S3119Z S9740Z	R3 ---	RS3119Z ---	---	P11	PRS3119Z				P12	PS9740Y	U4 U4	J34U J34U	
J35	2 507		S7,S8 S7,S8	S3096Z S9740Z	R3 ---	RS3096Z ---	---	P11	PRS3096Z				P12	PS9740Z	U4 U4	J35U J35U	
J36	386		S7,S8 S7,S8	S6931Y S9266Y	R3 ---	RS6931Y ---	---	313 P11	PRS6931Y				343 P12		U1 U1	J36U J36U	
J37	5821		S7,S8 S7,S8	S6931Z S9266Z	R3 ---	RS6931Z ---	---	P11	PRS6931Z				P12	PS9266Z	U1 U1	J37U J37U	
J38	18715		S9,S10 S9,S10	S6978Z S9390Z		---	---	314 P5	PS6978Z				344 P6		U3,U4 U3,U4	J38U J38U	
J39	522 100		S9,S10 S9,S10 S9,S10	S0019C S9017A S9016A	R3 ---	RS0019C ---	S9,S10 ---	GRS0019C GS9016A	P7	PGRS0019C		P8	PS9017A		415 U9 U9	J39U J39U J39U	
J40	1272		S9,S10 S9,S10	S6984A S9411B		---	---	316 P5	PS6984A				346 P6		U3,U4 U3,U4	J40U J40U	
J41	0		S9,S10 S9,S10	S6984A S9411C		---	---	P5	PS6984A				P6	PS9411C	U3,U4 U3,U4	J41U J41U	
J42	4813		S9,S10 S9,S10	S6984A S9411D		---	---	P5	PS6984A				P6	PS9411D	U3,U4 U3,U4	J42U J42U	
J43	986		S11,S12 S11,S12	S3034Z S9548Z	R3 ---	RS3034Z ---	S11,S12 ---	318 P3	PRS3034Z						418 U11 U11	J43U J43U	
J44	2 249		S11,S12 S11,S12	S3034Z S9549Z	R3 ---	RS3034Z ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Z						U11 U11	J44U J44U	
J45	376		S11,S12 S11,S12	S3034Z S9550Z	R3 ---	RS3034Z ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Z						U11 U11	J45U J45U	
J46	70		S11,S12 S11,S12	S3034Z S9551Z	R3 ---	RS3034Z ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Z						U11 U11	J46U J46U	
J47	0		S11,S12 S11,S12	S3034Y S9548Y	R3 ---	RS3034Y ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Y						U11 U11	J47U J47U	
J48	0		S11,S12 S11,S12	S3034Y S9549Y	R3 ---	RS3034Y ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Y						U11 U11	J48U J48U	
J49	0		S11,S12 S11,S12	S3034Y S9550Y	R3 ---	RS3034Y ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Y						U11 U11	J49U J49U	
J50	0		S11,S12 S11,S12	S3034Y S9551Y	R3 ---	RS3034Y ---	S11,S12 ---	P3	PRS3034Y						U11 U11	J50U J50U	
J51	15 000		S11,S12 S11,S12 S11,S12	S3091G S9714C S9715E		---	---	319 P15	PGS3091G		329 P15	PS9714C		349 P16		U10 U10 U10	J51U J51U J51U
J52	5 000		S11,S12 S11,S12 S11,S12	S3091E S9714C S9715D		---	---	P15	PGS3091E		P15	PS9714C		P16	PS9715D	U10 U10 U10	J52U J52U J52U
J53	5 000		S11,S12 S11,S12 S11,S12	S3091G S9714C S9715E		---	---	P15	PGS3091G		P15	PS9714C		P16	PS9715E	U10 U10 U10	J53U J53U J53U
J54	5 000		S11,S12 S11,S12 S11,S12	S3091E S9714C S9715D		---	---	P15	PGS3091E		P15	PS9714C		P16	PS9715D	U10 U10 U10	J54U J54U J54U

Tabulka 8.2: Přehled strojů a k nim přiřazených procesů (vlastní zpracování)



Obrázek 8.1: Schéma logistického procesu (vlastní zpracování)

Ad 2) Polotovary jsou dále dokončeny na linkách PCB, kam jednotlivé polotovary vstupují a jsou dokončeny do finálního stavu dalším zpracováním a doplněním dalších nakoupených komponent. Na vstupu jsou systémově převedeny PCB desky z oddělení osazování a odebrán materiál ze skladu. Materiál ze skladu dodává výrobní manipulát na základě objednávek pomocí kanbanových karet a tento materiál je systémově přesouván ze skladu do oddělení výroby pomocí čtečky čárových kódů opět pomocí kanbanových karet. Druhým zdrojem materiálu, konkrétně drobného materiálu, je tzv. „kanban supermarket“, umístěný přímo v oddělení výroby, do kterého pracovníci linek (procesů) chodí odebírat materiál na základě opět kanbanových poukázek a tento materiál je pomocí těchto karet systémově převáděn na jejich linky (procesy). Součástí procesu na lince PCB jsou i operace strojní pájení osazených součástek a testování na měřicích zařízeních, které mají význam z hlediska technologického a procesního, z hlediska materiálového nemají na proces vliv.

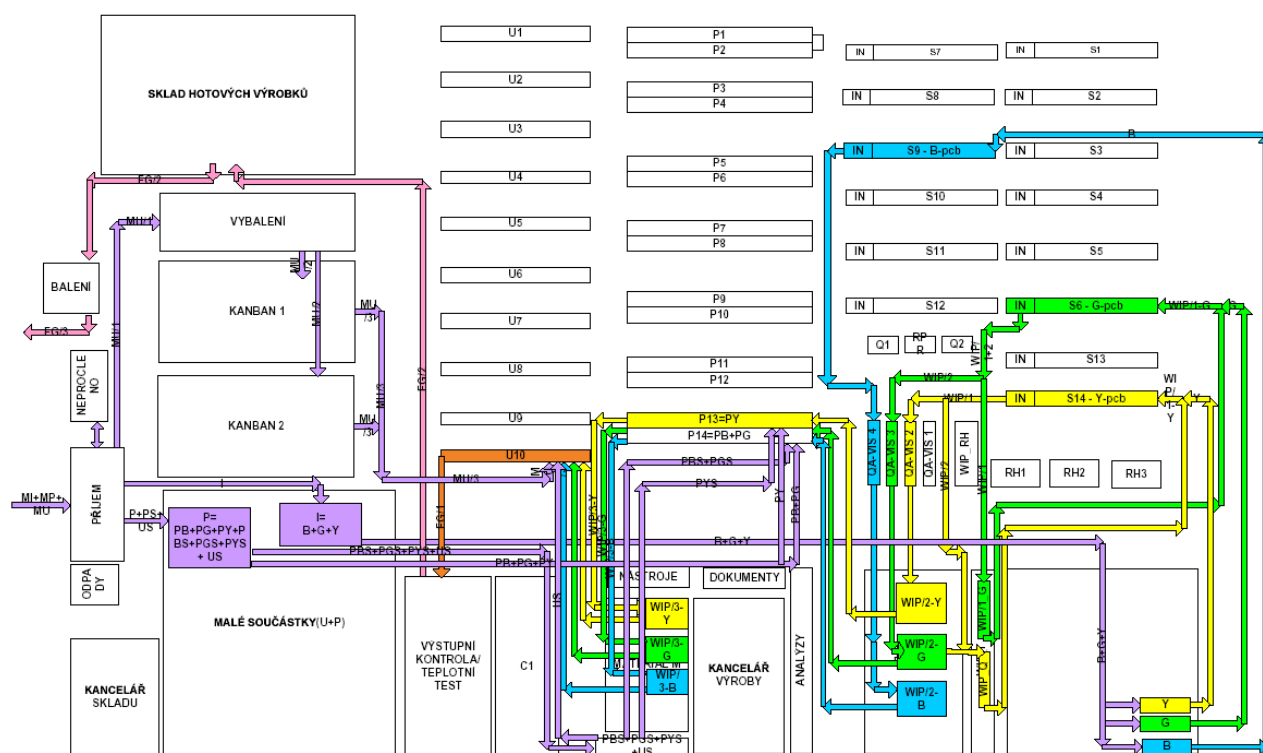
Ad 3) Polotovary pro finální montáž jsou odebírány ze skladu shodně jako materiál na linky PCB, co se týče odběru materiálu ze skladu i odběru materiálu z „kanban supermarketu“. Polotovary z PCB linek jsou odebírány a systémově převáděny rovněž ve fyzickém prostoru „kanban supermarketu“. Hotové výrobky jsou fyzicky odváženy pracovníky skladu a systémově převáděny po odsouhlasení výroba-sklad manuálním zápisem do systému. Pracovník skladu nepřevzme paletu s výrobky, jestliže není vybavená označením výstupní kontroly jako uvolněná k expedici; na formuláři označení je rovněž identifikace výrobku. Výrobky, převedené do skladu,

jsou shromažďovány na palety, baleny a exportovány buď přímo zákazníkovi (nejobvykleji), nebo do externího skladu, kde čekají na datum exportu.

Ad 4) Kontrolní činnosti nemají z hlediska materiálového toku vliv; materiálově spadají výhradně pod příslušný výrobní proces, ze kterého pracovníci oddělení kvality odebírají vzorky a po provedení zkoušek vrací do procesu zpět a systémově žádné přesuny neprobíhají. V případě zadržení neshodných výrobků oddělením kvality je opět povinností oddělení výroby tyto výrobky označit (formulářem červené barvy), fyzicky přesunout do vyhrazeného prostoru pro neshodné výrobky a systémově přesunout do skladu určeného pro neshodné výrobky.

8.1.3 Prostorové uspořádání procesů

Prostorové uspořádání jednotlivých pracovišť je znázorněno na obrázku 8.2. Jedná se o zobrazení opět jen jedné konkrétní rodiny výrobků. Skladovací prostory pro skladování jak vstupního materiálu, tak hotových výrobků, jsou umístěny (dle zobrazení na obr. 8.2) na levé straně a celkový logistický tok po celé ploše závodu má charakter písmene “U”.



Obrázek 8.2: Uspořádání jednotlivých pracovišť se znázorněním toku materiálu (vlastní zpracování)

8.1.4 Problémy současného stavu logistického systému podniku

Často opakovaný nedostatek materiálu a změny výrobního plánu způsobují naléhavé neplánované objednávky materiálu z externího skladu a opakované změny termínů u dodavatelů (tj. především subdodavatelů komponent - outsourcingu). Existují obě mezní situace, kdy buď materiál nebyl dodán dostatečně rychle, nebo se na jednotlivých pracovištích akumuluje materiál,

který je zásobou pro pracoviště na zbytečně dlouhou dobu. Tyto prostoje a příliš velké zásoby nepřinášejí žádnou hodnotu, tudíž jejich eliminace je jednou z možností ke zlepšení celého procesu. Zásadní vliv na interní transport a protínání tras materiálového toku má samozřejmě především uspořádání skupin linek a jejich prostorová konfigurace

Základním problémem, řešeným v případové studii, je problematika rozvržení výrobního plánu. Tato úloha je centrální úlohou, na kterou navazují další úlohy, týkající se dalších oddělení podniku. V tomto případě se úloha týká kompletního sortimentu výrobků, nejen vybrané *rodiny výrobků*, která byla znázorněna na schématech vytvořených metodou VSM.

Problematickými místy, respektive místy, na které je třeba se při optimalizaci logistického systému zaměřit, jsou:

V oblasti zákaznického servisu

- Trvalé dodržování 100% termínu dodávky
- Trvalé dodržování 100% dodaného množství
- Trvalé dodržování kvality dodávky – max. povolené množství neshodných výrobků je 50 ppm

V oblasti řízení zásob

- Existence vysoké úrovně zásob na skladě (interní + externí sklad)
- Přestože úroveň zásob ve skladu je vysoká, existují případy, kdy chybí materiál na výrobních linkách
- Kapacita skladovací plochy ve výrobě je nedostatečná z důvodu navyšování celkovému objemu výroby v podniku nad objem, plánovaný při stavbě budovy
- Optimalizace pohybu materiálu ve skladu – z hlediska nákladů a kvality

V oblasti nákupu:

- Zavádění systému *e-procurement* jako výzva pro budoucí úspory
- Optimalizace řízení nákupu přímého a nepřímého materiálu

V oblasti výroby:

- Nutnost optimalizace manipulace s materiálem na výrobě
- Nutnost optimalizace struktury výrobního programu linek (střídání výrobků)
- Nutnost optimalizace práce s výrobními (kvantitativními) daty
- Nutnost efektivního dodržování systému FIFO
- Nutnost efektivního dodržování Zpětné dohledatelnosti (*Traceability*)

V oblasti kvality:

- Nutnost minimalizace nákladů na nekvalitu (eliminace oprav a víceprací)
- Nutnost optimalizace práce s kvalitativními daty
- Nutnost minimalizace nákladů na neopravitelné zmetky (určené k sešrotování)

8.1.5 Stav dosud provedených úprav

V procesu přípravné a finální montáže se vedení podniku rozhodlo využít kanban systém k přesunutí bodu rozpojení blíže ke zdroji, tj. převedení materiálového toku mezi skladem součástek a polotovarů ze systému tlaku na systém tahu. Připravené komponenty byly dříve dopravovány na linku finální montáže tak, že na různých pracovištích se vyskytovaly různé počty součástek a polotovarů, v závislosti na plnění plánu a průběžném objednávání materiálu na jednotlivé výrobky. Vzhledem k tomu, že reálné procesy přesně neodpovídají procesům plánovaným, docházelo k akumulaci přebytečného materiálu na pracovištích (případně k prostojům vlivem nedostatku materiálu požadovaného). Interní logistika tedy nebyla za použití systému tlaku dostatečně řízena. Pro výměnu přebytečného materiálu za správný je třeba použít zásobovací cyklus, plus efektivní standardizované vymezení dopravních tras.

Jedno z rozhodnutí se týkalo výběru typu použitého dopravního elementu; dopravní element musel procházet přes výrobní linku, aniž by narušoval práci pracovníků. Dopravní element musel mít také dostatečnou kapacitu transportovat přepravní boxy mezi pracovišti. Prostorové uspořádání bylo po několika kapacitních studiích, obsahující vzdálenosti, rychlost a ovladatelnost v souvislosti s rozhodnutím vedení podniku nedotčeno (viz obrázek 6; prostorové uspořádání zůstává shodné pro fázi před zavedením i úpravě - po zavedení systému kanban). Co se týče typu dopravního elementu, bylo rozhodnuto, že pro daný zásobovací cyklus bude nejvhodnějším transportním elementem dosud používaný, jednoduchý vozík pro přepravu boxů s kolečky, obsluhovaný pracovníkem.

Mnohem zásadnější změna se týkala provedení systému uskladnění materiálu v prostoru skladu. Z důvodu zajištění implicitního dodržování systému FIFO byla provedena změna skladovacích regálů z regálů obvyklých (policových) na regály spádové, jejichž skladovací plochu tvoří pod úhlem nakloněná válečková trať (viz obrázek 8.3).



Obrázek 8.3: Změna typu skladovacího systému v prostorách skladu (vlastní zpracování)

Na základě kapacitních propočtů a simulací běhu systému byla určena požadovaná kapacita (interního) skladového prostoru tak, aby bylo možno uskladnit materiál na 1,5 provozní směny. Zásobení interního skladu bylo synchronizováno s pravidelnými dodávkami z externího skladu.

8.1.6 *Předběžné výsledky úprav materiálového toku*

Ověření výsledků testovacího provozu systému kanban bylo provedeno cca 3 měsíce před spuštěním akce fyzické přestavby skladu a změny systému objednávání materiálu ze strany výroby. Test proběhl současně na dvou linkách, což představuje cca 10% objemu manipulovaného materiálu. Výsledky byly jednoznačně pozitivní a potvrdily původní předpoklady. Jako přínosy při testu byly vyhodnoceny: nepřetržitá dodávka materiálu na výrobní linku, odpadla dodatečná nutnost redistribuce materiálu na pracoviště, pohyb materiálu byl jasně definovaný a vizualizovaný – což znamenalo větší přehled pro pracovníky a především materiálové manipulanty na lince.

8.2 APLIKACE METODIKY SKUPINOVÉ TECHNOLOGIE

Metodika skupinové technologie byla aplikována na případovou studii u konkrétního podniku, popsaného v předchozí kapitole. Jednou ze strategických otázek byla a je otázka změny uspořádání procesů ze stávající formy výrobních linek do formy výrobních buněk, plus související otázka - do jaké míry takového buňky implementovat.

Po posouzení kapacitních možností a celkové konfigurace je metodika skupinové technologie aplikována pouze na část výrobních procesů, a to na linky PCB. Linky automatického osazování a linky finální montáže jsou natolik specifické z pohledu technologie a použitých zařízení, že jejich přestavba na buňky buď není vůbec z technického hlediska možná (linky automatického osazování), anebo s uvážením kapacitních údajů (převážně sériová - hromadná výroba) by bylo nutné investovat do nákupu dalších výrobních a především testovacích zařízení.

Z těchto důvodů je tedy metodika skupinové technologie aplikována jen na linky PCB, které byly rozděleny na celkem 7 skupin procesů, uvažovaných jako stroje, viz tabulka 8.3, na kterých probíhá celkem 20 procesů, viz tabulka 8.4.

Číslo stroje	Charakteristika procesu
1	Osazování komponent pro procesy s menší náročností na zařízení
2	Osazování komponent pro procesy s větší náročností na použité zařízení
3	Zapájení desek PCB - velké desky
4	Zapájení desek PCB - desky středních rozměrů
5	Zapájení desek PCB - desky malých rozměrů
6	Testování desek s menší náročností na zařízení
7	Testování desek s velkou náročností na zařízení

Tab. 8.3: Uspořádání procesů do formy strojů, (vlastní zpracování)

Označení procesu pro výpočet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Označení procesu	3015Y	9470Z	8695Z	3035Z	9552Z	0035A	0023Y	0042A	0020A	0044A
Označení procesu pro výpočet	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Označení procesu	3119Z	9740Z	6978Z	9390Z	0019C	6984A	9411B	3034Z	3091G	9714C

Tab. 8.4: Označení procesů pro výpočet, (vlastní zpracování)

8.2.1 Řešení s použitím původní metodiky (dle Jaganathana)

Tabulka 8.5 zobrazuje sekvenci a vyráběné množství - pro 7 strojů a 20 komponent.

		Stroje							Měsíční množství
komponenty		1	2	3	4	5	6	7	
A	X			X			X		814
B	X				X		X		814
C			X	X				X	1 366
D	X			X			X		14 671
E	X				X		X		14 671
F			X	X				X	5 030
G			X		X			X	6 231
H			X			X		X	4 968
I			X			X		X	14 281
J			X	X					4 281
K	X			X			X		10 473
L	X			X			X		10 473
M	X				X		X		18715
N	X					X	X		18715
O			X			X		X	622
P	X				X		X		6085
Q	X			X			X		6085
R	X			X			X		3 681
S			X	X				X	30 000
T			X		X				30 000

Tab. 8.5: Matice výrobků se sekvencí a vyráběným množstvím, (vlastní zpracování)

Výpočet počtu buněk

Počet strojů $m = 7$

Počet komponent $n = 20$

Dokud počet strojů $m \leq 24$, pak

$$L_{c_min} = 2, L_{c_max} = (\text{počet strojů} / L_{c_min}) = 7/2 = 3,5 \text{ (zaokrouhleno dolů)} = 3.$$

Dokud počet komponent $n \leq 24$, pak

$$L_{f_min} = 2, L_{c_max} = (\text{počet komponent} / L_{f_min}) = 4/2 = 2$$

Minimální požadovaný počet buněk $p_{min} = \text{Max}(L_{c_min}, L_{f_min}) = \text{Max}(2, 2)$

$$p_{min} = 2 \text{ (minimální požadovaný počet buněk)}$$

Maximální požadovaný počet buněk $p_{max} = \text{Max}(L_{c_max}, L_{f_max}) = \text{Min}(3, 2)$

$$p_{max} = 2 \text{ (maximální požadovaný počet buněk)}$$

Dosazení: $L_f = L_{f_min}$ a $U_f = 12$; v tomto případě $U_f = 20$

$$L_f = 2 \text{ a } U_f = 20$$

Dosazení: $L_c = L_{c_min}$ a $U_c = 12$; v tomto případě $U_c = 4$

$$L_c = 2 \text{ a } U_c = 7$$

Formace buněk

Objemy materiálu komponent, které jsou transportovány mezi různými stroji, jsou uvedeny v tabulce (8.6).

		Stroje (ze stroje # na stroj #)												
Množství komponenty [kusy]		1 na 3	1 na 4	1 na 5	2 na 3	2 na 4	2 na 5	3 na 6	3 na 7	1 na 4	4 na 6	4 na 7	5 na 6	5 na 7
	A	814						814						
	B									814	814			
	C				1 366				1 366					
	D	14671						14671						
	E									14671	14671			
	F				5 030				5 030					
	G					6 231						6 231		
	H						4 968							4 968
	I						14281							14281
	J				4 281									
	K	10473						10473						
	L	10473						10473						
	M									18715	18715			
	N			18715									18715	
	O						622							622
	P		6085								6085			
	Q	6085						6085						

	R	3 681						3 681						
	S				30000				30000					
	T					30000								

8.6: Tok materiálu mezi stroji pro všechny výrobky [v kusech], (vlastní zpracování)

Výsledek výpočtu, získaný po aplikaci rovnice (6.13) je uveden v tabulce 8.7 a detailní uspořádání buněk a v tabulce 8.8:

	Buňka 1	Buňka 2	Metoda dle Jaganathana		Buňka 1	Buňka 2	Metoda dle Jaganathana
26	3,4,5	1,2,6,7	184 836	8	1,3,6	2,4,5,7	97 537
4	1,2,6	3,4,5,7	153 587	10	1,4,5	2,3,6,7	93 701
47	3,4	1,2,5,6,7	146 250	32	4,5,6	1,2,3,7	93 701
15	1,6,7	2,3,4,5	136 446	42	2,3	1,4,5,6,7	92 446
28	3,4,7	1,2,5,6	134 872	20	2,4,5	1,3,6,7	92 390
5	1,2,7	3,4,5,6	132 237	49	3,6	1,2,4,5,7	91 135
25	2,6,7	1,3,4,5	132 237	19	2,3,7	1,4,5,6	87 299
48	3,5	1,2,4,6,7	123 320	53	4,7	1,2,3,5,6	86 534
16	2,3,4	1,5,6,7	117 731	11	1,4,6,	2,3,5,7	86 454
6	1,3,4	2,5,6,7	112 366	2	1,2,4	3,5,6,7	85 988
27	3,4,6	1,2,5,7	112 366	9	1,3,7	2,4,5,6	85 988
17	2,3,5	1,4,6,7	111 161	21	2,4,6	1,3,5,7	85 988
7	1,3,5	2,4,6,7	111 006	31	3,6,7	1,2,4,5	85 988
29	3,5,6	1,2,4,7	111 006	14	1,5,7	2,3,4,6	83 848
13	1,5,6	2,3,4,7	106 353	35	5,6,7	1,2,3,4	83 848
12	1,4,7	2,3,5,6	106 183	41	1,7	2,3,4,5,6	83 848
33	4,5,7	1,2,3,6	105 249	56	6,7	1,2,3,4,5	83 848
40	1,6	2,3,4,5,7	105 197	37	1,3	2,4,5,6,7	80 662
3	1,2,5	3,4,6,7	101 299	46	2,7	1,3,4,5,6	79 639
23	2,5,6	1,3,4,7	100 988	50	3,7	1,2,4,5,6	79 587
36	1,2	3,4,5,6,7	100 988	24	2,5,7	1,3,4,6	78 483
45	2,6	1,3,4,5,7	100 988	38	1,4	2,3,5,6,7	73 830
51	4,5	1,2,3,6,7	100 102	52	4,6	1,2,3,5,7	73 830
1	1,2,3	4,5,6,7	98 848	43	2,4	1,3,5,6,7	73 675
18	2,3,6	1,4,5,7	98 848	39	1,5	2,3,4,6,7	72 470
34	4,6,7	1,2,3,5	98 848	54	5,6	1,2,3,4,7	72 470
22	2,4,7	1,3,5,6	98 693	44	2,5	1,3,4,6,7	67 105
30	3,5,7	1,2,4,6	98 302	55	5,7	1,2,3,4,6	49 964

Tabulka 8.7: Možnosti uspořádání buněk, získané výpočtem z rovnice (6.13), (vlastní zpracování)

		Stroje						
Množství Komponenty [kusy]		1	2	3	4	6	5	7
	A	814		814		814		
	C		1366	1366		14671		
	D	14671		14671		14671		
	I		14281					
	J		4281	4281		10473		
	K	10473		10473		10473		
	L	10473		10473		18715		
	O		622			6085		
	P	6085			6085	6085		
	Q	6085		6085		3681		
	R	3681		3681				
	T		30000		30000			
	B	814			814			1366
	E	14671			14671			5030
	F		5030	5030				6231
	G		6231		6231		4968	4968
	H		4968				14281	14281
	M	18715			18715	18715	18715	
	N	18715					622	622
	S		30000	30000				30000

Tabulka 8.8: Výsledné nejvhodnější uspořádání buněk, získané výpočtem z rovnice (6.13), (vlastní zpracování)

GT efektivita

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I}$$

$$\begin{aligned}
 I &= \sum_{r=1}^n d_r (n_r - 1) = \sum_{r=1}^{20} d_r (n_r - 1) = ((814 * 2) + (814 * 2) + (1366 * 2) + (14671 * 2) + (14671 * 2) + (5030 * 2) \\
 &+ (6231 * 2) + (4968 * 2) + (14281 * 2) + (4281 * 1) + (10473 * 2) + (10473 * 2) + (18715 * 2) + (18715 * 2) \\
 &+ (622 * 2) + (6085 * 2) + (6085 * 2) + (3681 * 2) + (30000 * 2) + (30000 * 1)) \\
 &= 369671
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U &= \sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^{n_r-1} X_{ijr} d_r = \sum_{r=1}^4 \sum_{j=1}^{20-1} X_{ijr} d_r = (1 * 1366) + (1 * 25030) + (1 * 6231) + (1 * 4968) + (1 * 14281) \\
 &+ (2 * 18715) + (1 * 622) + (1 * 30000) = 99928
 \end{aligned}$$

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I} = \frac{369671 - 99928}{369671} = 0,72968$$

Kompaktnost

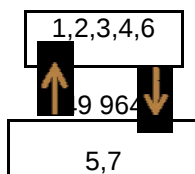
$$\text{Kompaktnost} = \frac{\sum_{k=1}^p \text{TOTOP}_k}{\sum_{k=1}^p (\text{TOTOP}_k + \text{NOP}_k)} = \frac{(31+11)}{(31+11) + (41+5)} = 0,4772$$

Bond Efektivita

$$\beta = \left(\frac{(I-U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} \text{TOTOP}_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (\text{TOTOP}_k + \text{NOP}_k)} \right) / 2 = (0,72968 + 0,4772) / 2 = 0,60344$$

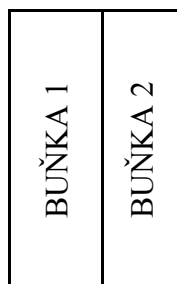
Relativní uspořádání buněk

Protože počet buněk a strojů uvnitř jsou dány, další částí metodiky je uspořádat buňky a stroje uvnitř buněk v závislosti na vazbách, které jsou mezi nimi nastaveny. Počet transportů mezi buňkami v zásadě ustanovuje vzájemné postavení buněk. Každá buňka může být uvažována jako individuální oddělení a tok mezi nimi lze znázornit na obr.8.4.



Obr. 8.4: Schéma transportu mezi buňkami, (vlastní zpracování)

Celkový počet transferů mezi buňkami je 100 (viz výpočet). Z výše uvedené závislosti mohou 2 buňky být umístěny k sobě relativně tak, jak je zobrazeno na obr. 8.5.



Obr. 8.5: Uspořádání buněk, (vlastní zpracování)

Relativní umístění strojů uvnitř buněk

Závislosti mezi stroji a jejich relativní uspořádání v rámci jejich příslušných buněk jsou zobrazeny v tabulce 8.9 a 8.10.

	1	2
1	0	50
2	0	0

1
2

Tabulka 8.9: Zobrazení Buňky 1, (vlastní zpracování)

	3	4	5	6	7
3	0	0	0	11	0
4	36	0	24	0	0
5	0	0	0	24	0
6	0	0	0	0	35
7	0	0	0	0	0

3	4	5	6	7
---	---	---	---	---

Tabulka 8.10: Navržený layout pro Buňku 2, (vlastní zpracování)

Přiřazení strojů na optimální lokace

Z - Do (Stroje)	Počet transportů mezi buňkami
2 na 3	50
2 do 6	25

Tabulka 8.11: Transfery mezi buňkami a stroji, (vlastní zpracování)

Jak vyplývá z navržené metodiky, stroje, zahrnuté do transferů mezi buňkami, jsou přiřazeny do kardinálních lokací jejich buněk, což jsou lokace podél hranice každé z buněk, aby byla minimalizována vzdálenost pro manipulaci. Další stroje uvnitř každé buňky jsou přiřazeny triviálním lokacím jejich příslušného layoutu, což znamená, lokace jiné než kardinální, protože tyto stroje nemají vliv na náklady manipulace s materiálem mezi buňkami. Příslušné layouty pro konfiguraci 2 buněk byly změněny a v úvahu byla vzata míra transportu mezi buňkami a stroje, které se jí účastní. Jak lze zpozorovat z níže uvedených layoutů, stroje, zahrnuté do transferu mezi buňkami, zaujímají kardinální lokace v každé buňce a ostatní zaujímají triviální lokace.

Výsledný layout lze reprezentovat, jak je uvedeno na obr. 8.6.

1	4	5	
2	3	6	7

Obr. 8.6: Výsledné uspořádání buněk, (vlastní zpracování)

8.2.2 Řešení s použitím upravené metodiky (J-T metodika)

Sekvence, výrobní množství a počty kusů komponent na jeden transportní box pro 7 strojů a 20 výrobků je zobrazeno v tabulce 8.12.

		Stroje							Měsíční množství [ks]	Množství v transport. boxu [ks]
		1	2	3	4	5	6	7		
Komponenty	A	X		X			X		814	16
	B	X			X		X		814	28
	C		X	X				X	1 366	36
	E	X		X			X		14 671	10
	F	X			X		X		14 671	8
	G		X	X				X	5 030	16
	I		X		X			X	6 231	12
	K		X			X		X	4 968	32
	M		X			X		X	14 281	32
	O		X	X					4 281	72
	P	X		X			X		10 473	14
	Q	X		X			X		10 473	12
	R	X			X		X		18715	18
	S	X				X	X		18715	26
	T		X			X		X	622	66
	V	X			X		X		6085	16
	W	X		X			X		6085	12
	X	X		X			X		3 681	16
	Y		X	X				X	30 000	8
	Z		X		X				30 000	12

Tabulka 8.12: Matice výrobků s rozdělením na jednotlivé stroje, s vyráběným množstvím a počty kusů v transportním boxu, (vlastní zpracování)

Výpočet počtu buněk

Počet strojů $m = 7$

Počet komponent $n = 4$

Dokud počet strojů $m \leq 24$, pak

$$L_{c_min} = 2, L_{c_max} = (\text{počet strojů} / L_{c_min}) = 7/2 = 3,5 \text{ /zaokrouhleno dolů/} = 3.$$

Dokud počet komponent $n \leq 24$, pak

$$L_{f_min} = 2, L_{c_max} = (\text{počet komponent} / L_{f_min}) = 4/2 = 2$$

Minimální požadovaný počet buněk $p_{min} = \text{Max} (L_{c_min}, L_{f_min}) = \text{Max} (2,2)$

$$p_{min} = 2 \text{ (minimální požadovaný počet buněk)}$$

Maximální požadovaný počet buněk $p_{max} = \text{Max} (L_{c_max}, L_{f_max}) = \text{Min} (3,2)$

$$p_{max} = 2 \text{ (maximální požadovaný počet buněk)}$$

Dosazení: $L_f = L_{f_min}$ a $U_f = 12$; v tomto případě $U_f = 4$

$$L_f = 2 \text{ a } U_f = 4$$

Dosazení: $L_c = L_{c_min}$ a $U_c = 12$; v tomto případě $U_c = 4$

$$L_c = 2 \text{ a } U_c = 7$$

Formace buněk

Objemy materiálu (komponent), které jsou transportovány mezi různými stroji, jsou uvedeny v tabulce (8.13).

		Stroje (ze stroje # na stroj #)											
Množství komponenty [kusy]		1 na 3	1 na 4	1 na 5	2 na 3	2 na 4	2 na 5	3 na 6	3 na 7	4 na 6	4 na 7	5 na 6	5 na 7
	A	51						51					
	B		30							30			
	C				86				86				
	D	1 048						1 048					
	E		1 223							1 223			
	F				629				629				
	G					1 039					1 039		
	H						207						207
	I						596						596
	J				60								
	K	749						749					
	L	749						749					
	M		1040							1040			

	N			1560							1560	
	O						39					39
	P		381							381		
	Q	508						508				
	R	231						231				
	S				5 000				5 000			
	T					1 250						

Tabulka 8.13: Znázornění toku materiálu mezi stroji pro všechny výrobky [v transportních boxech], (vlastní zpracování)

Výsledky výpočtů z rovnice 7.1 jsou uvedeny v tabulce 8.14. Počet možností sestavení buněk je určen počtem kombinací pro zadanou testovací úlohu. Tabulka 8.14 zobrazuje porovnání počtů transportů pro jednotlivé kusy versus počet transportů boxů. Z tabulky vyplývá především očekávaný rozdíl výsledků, kdy dle metody dle Jaganathana je jako nejvýhodnější zvolena konfigurace 1,2,3,4,6 a 5,7 zatímco dle metody J-T je jako nejvýhodnější konfigurace určena konfigurace 1,5 a 2,3,4,6,7.

***Poznámka:** objem celkového toku mezi buňkami je v první tabulce uveden v kusech a v druhé tabulce v boxech, tj. jsou neporovnatelné a nejsou tedy určeny ke vzájemnému srovnání efektivity metod uspořádání buněk.*

	Buňka 1	Buňka 2	Metoda J-T		Buňka 1	Buňka 2	Metoda J-T
26	3,4,5	1,2,6,7	15 821	18	2,3,6	1,4,5,7	8 208
47	3,4	1,2,5,6,7	13 419	34	4,6,7	1,2,3,5	8 208
5	1,2,7	3,4,5,6	12 036	20	2,4,5	1,3,6,7	8 062
25	2,6,7	1,3,4,5	12 036	42	2,3	1,4,5,6,7	7 759
4	1,2,6	3,4,5,7	12 023	2	1,2,4	3,5,6,7	7 613
48	3,5	1,2,4,6,7	11 483	9	1,3,7	2,4,5,6	7 613
15	1,6,7	2,3,4,5	11 368	21	2,4,6	1,3,5,7	7 613
6	1,3,4	2,5,6,7	11 194	31	3,6,7	1,2,4,5	7 613
27	3,4,6	1,2,5,7	11 194	14	1,5,7	2,3,4,6	7 583
28	3,4,7	1,2,5,6	10 463	35	5,6,7	1,2,3,4	7 583
7	1,3,5	2,4,6,7	10 372	41	1,7	2,3,4,5,6	7 583
29	3,5,6	1,2,4,7	10 372	56	6,7	1,2,3,4,5	7 583
8	1,3,6	2,4,5,7	9 979	40	1,6	2,3,4,5,7	7 570
16	2,3,4	1,5,6,7	9 808	50	3,7	1,2,4,5,6	7 164
49	3,6	1,2,4,5,7	9 530	53	4,7	1,2,3,5,6	7 097
17	2,3,5	1,4,6,7	9 319	13	1,5,6	2,3,4,7	6 852
22	2,4,7	1,3,5,6	9 261	51	4,5	1,2,3,6,7	6 740
24	2,5,7	1,3,4,6	8 969	11	1,4,6,	2,3,5,7	6 580
37	1,3	2,4,5,6,7	8 781	43	2,4	1,3,5,6,7	6 502
12	1,4,7	2,3,5,6	8 732	10	1,4,5	2,3,6,7	6 291
30	3,5,7	1,2,4,6	8 724	32	4,5,6	1,2,3,7	6 291
33	4,5,7	1,2,3,6	8 657	44	2,5	1,3,4,6,7	6 013
3	1,2,5	3,4,6,7	8 258	19	2,3,7	1,4,5,6	5 842

46	2,7	1,3,4,5,6	8 251	38	1,4	2,3,5,6,7	5 449
23	2,5,6	1,3,4,7	8 238	52	4,6	1,2,3,5,7	5 449
36	1,2	3,4,5,6,7	8 238	55	5,7	1,2,3,4,6	5 358
45	2,6	1,3,4,5,7	8 238	39	1,5	2,3,4,6,7	4 627
1	1,2,3	4,5,6,7	8 208	54	5,6	1,2,3,4,7	4 627

Tabulka 8.14: Možnosti uspořádání buněk získaných metodou J-T, (vlastní zpracování)

Tabulky jsou seřazeny od nejméně vhodného řešení k řešení nejvhodnějšímu. Z tabulek vyplývá kromě rozdílnosti pořadí variant především rozdílnost výsledků.

		Stroje						
Množství Komponenty [kusy]		1	2	3	4	7	5	6
	A	51		51				51
	B	30			30			30
	D	1048		1048				1048
	E	1223			1223			1223
	K	749		749				749
	L	749		749				749
	M	1040			1040			1040
	N	1560					1560	1560
	O		39			39	39	
	P	381			381			381
	Q	508		508				508
	R	231		231				231
	H		207			207	207	
	I		596			596	596	
	C		86	86		86		
	F		628	629		629		
	G		1039		1039	1039		
	J		60	60				
	S		5000	5000		5000		
	T		1250		1250			

Tabulka 8.15: Detailní uspořádání buněk, získané po aplikaci rovnice (7.1); [množství v počtech boxů] – pro variantu „54“ (vlastní zpracování)

		Stroje						
Množství Komponenty [kusy]		1	5	2	3	4	6	7
	A	51			51		51	
	B	30				30	30	
	D	1048			1048		1048	
	E	1223				1223	1223	
	K	749			749		749	
	L	749			749		749	
	M	1040				1040	1040	

N	1560	1560				1560	
O		39	39				39
P	381				381	381	
Q	508			508		508	
R	231			231		231	
H		207	207				207
I		596	596				596
C			86	86			86
F			628	629			629
G			1039		1039		1039
J			60	60			
S			5000	5000			5000
T			1250		1250		

Tabulka 8.16: Detailní uspořádání buněk, získané po aplikaci rovnice (7.1); [množství v počtech boxů] – pro variantu „39“ (vlastní zpracování)

8.2.2.1.1 Výpočet hodnot pro variantu “54”

GT efektivita

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I}$$

$$I_{54} = \sum_{r=1}^n \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = \sum_{r=1}^4 \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = ((51*2) + (30*2) + (86*2) + (1048*2) + (1223*2) + (629*2) + (1039*2) + (207*2) + (596*2) + (60*1) + (749*2) + (749*2) + (1040*2) + (1560*2) + (39*2) + (381*2) + (508*2) + (231*2) + (5000*2) + (1250*1) = 31642$$

$$U_{54} = \sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^{n_r-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = \sum_{r=1}^4 \sum_{j=1}^{4-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = (1*51) + (1*30) + (1*1048) + (1*1223) + (1*207) + (1*207) + (1*596) + (1*596) + (1*749) + (1*749) + (1*1040) + (1*1560) + (1*39) + (1*39) + (1*381) + (1*508) + (1*231) = 9254$$

$$GT_efektivita_{54} = \frac{I - U}{I} = \frac{31642 - 9254}{31642} = 0,7075$$

Kompaktnost

$$Kompaktnost_{54} = \frac{\sum_{k=1}^p TOTOP_k}{\sum_{k=1}^p (TOTOP_k + NOP_k)} = \frac{(15 + 16)}{(15 + 16) + (14 + 13)} = 0,5344$$

Bond efektivita

$$\beta_{54} = \left(\frac{(I - U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} TOTOP_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (TOTOP_k + NOP_k)} \right) / 2 = (0,7075 + 0,5344) / 2 = 0,62095$$

8.2.2.1.2 Výpočet hodnot pro variantu „39”

GT efektivita

$$GT_efektivita = \frac{I - U}{I}$$

$$\begin{aligned} I_{39} &= \sum_{r=1}^n \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = \sum_{r=1}^4 \frac{d_r}{t_r} (n_r - 1) = ((51*2) + (30*2) + (86*2) + (1048*2) + (1223*2) + (629*2) \\ &+ (1039*2) + (207*2) + (596*2) + (60*1) + (749*2) + (749*2) + (1040*2) + (1560*2) \\ &+ (39*2) + (381*2) + (508*2) + (231*2) + (5000*2) + (1250*1) \\ &= 31642 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{39} &= \sum_{r=1}^n \sum_{j=1}^{n_r-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = \sum_{r=1}^4 \sum_{j=1}^{4-1} X_{ijr} \frac{d_r}{t_r} = (1*51) + (1*30) + (1*1048) + (1*1223) + (1*207) + (1*207) + \\ &+ (1*596) + (1*596) + (1*749) + (1*749) + (1*1040) + (1*1560) + (1*39) + (1*39) + (1*381) + \\ &+ (1*508) + (1*231) = 9254 \end{aligned}$$

$$GT_efektivita_{39} = \frac{I - U}{I} = \frac{31642 - 9254}{31642} = 0,7075$$

Kompaktnost

$$Kompaktnost_{39} = \frac{\sum_{k=1}^p TOTOP_k}{\sum_{k=1}^p (TOTOP_k + NOP_k)} = \frac{(15+16)}{(15+16) + (14+13)} = 0,5344$$

Bond efektivita

$$\beta_{39} = \left(\frac{(I - U)}{I} + \frac{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} TOTOP_k}{\sum_{k=p_{\min}}^{p_{\max}} (TOTOP_k + NOP_k)} \right) / 2 = (0,7075 + 0,5344) / 2 = 0,62095$$

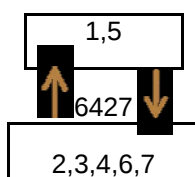
Při porovnání výpočtu variant je zřejmé, že obě varianty vycházejí rovnocenně, tj. je možné použít libovolnou z nich. Z technologického hlediska je však výhodnější verze „39“, kdy

nedochází k transportu osazených, nezapájených desek, u kterých hrozí riziko jak uvolnění a vypadnutí součástek ven z desky, tak i poškození antistatickou elektřinou (ESD). Proto je preferována a také dále uvažována varianta „39“.

Relativní umístění buněk

Protože počty buněk a strojů uvnitř jsou určeny, další částí metodiky je uspořádat buňky a stroje uvnitř buněk v závislosti na vazbách, které jsou mezi nimi nastaveny. Počet transportů mezi buňkami v zásadě ustanovuje vzájemné postavení buněk. Každá buňka může být uvažována jako individuální oddělení a tok mezi nimi lze identifikovat použitím výběrového grafu.

Pro konfiguraci o 2 buňkách je celkový počet transportů mezi buňkami 6427 (viz tab. 8.14). Jako výchozí návrh lze stanovit vzájemné umístění buněk tak, jak je zobrazeno na obr. 8.7.



Obr. 8.7: Transport mezi buňkami, výchozí návrh, (vlastní zpracování)

Relativní umístění strojů uvnitř buněk

Závislosti mezi stroji a jejich relativní uspořádání v rámci jejich příslušných buněk jsou zobrazeny v tabulce 8.17 a 8.18. Návrh layoutu je proveden na základě výchozího rozvržení, tj. s uvažováním transportu pouze mezi buňkami.

	2	3	4	6	7
2	0	5775	2289	0	0
3	0	0	0	3336	5715
4	0	0	0	2674	1039
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0

Tabulka 8.17: Schéma „ze stroje-na stroj“ pro buňku 1, (vlastní zpracování)

7	6	4	3	2
---	---	---	---	---

Obr. 8.8: Navržený výchozí layout buňky 1, (vlastní zpracování)

	1	5
1	0	1560
5	0	0

Tabulka 8.18: Schéma „ze stroje-na stroj“ pro buňku 2, (vlastní zpracování)

5	1
---	---

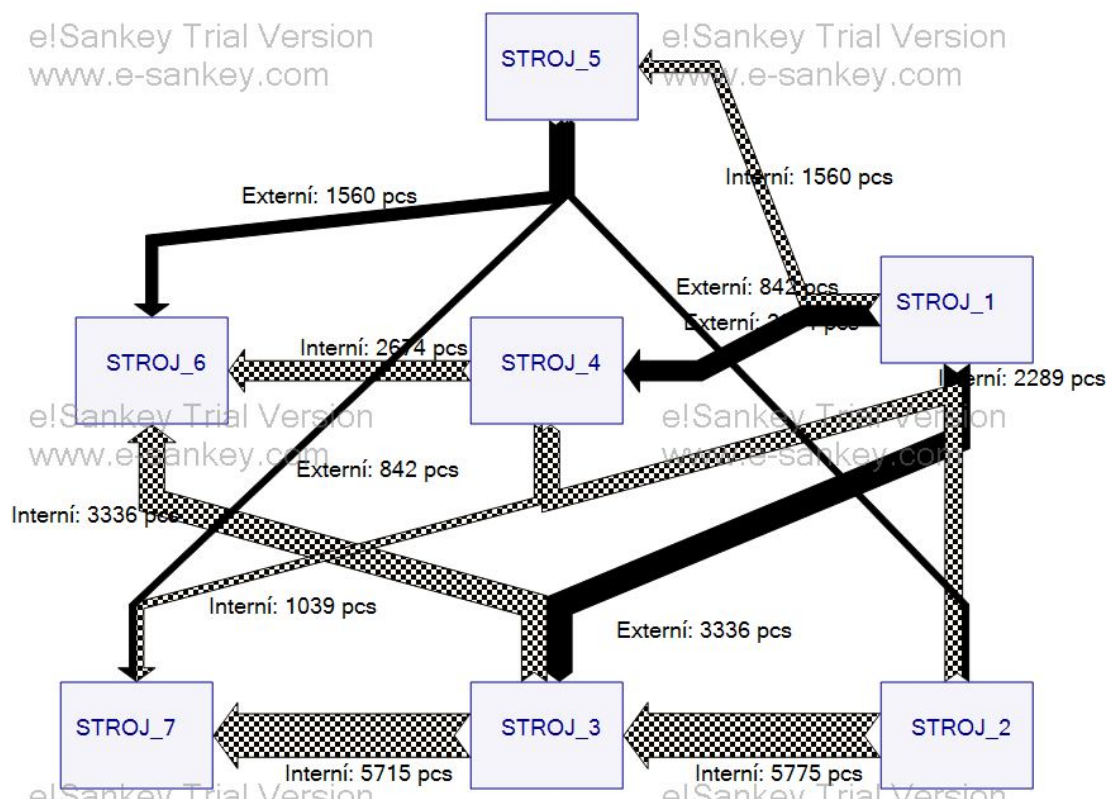
Obr. 8.9: Navržený výchozí layout buňky 2, (vlastní zpracování)

Přiřazení strojů na optimální lokace

Stroje, které jsou zařazeny do transferů mezi buňkami, jsou identifikovány v prioritizovaném pořadí (Tabulka 8.19).

Z - Do (Stroje)	Počet transportů mezi buňkami
z 1 na 3	3336
z 1 na 4	2674
z 2 na 6	1562
z 2 na 5	842
z 5 na 7	842

Tabulka 8.19: Externí transporty mezi buňkami, (vlastní zpracování)



Obr. 8.10: Sankeyův diagram transferů mezi stroji v buňkách – výsledné uspořádání, (vlastní zpracování)

6	4	
7	3	2

Obr. 8.11: Navržený výsledný layout buňky 1, (vlastní zpracování)

5	1
---	---

Obr. 8.12: Navržený výsledný layout buňky 2, (vlastní zpracování)

	5	
6	4	1
7	3	2

Obr. 8.13: Navržený výsledný layout obou buněk, (vlastní zpracování)

Výsledné rozvržení layoutu je navrženo v souladu se stávajícím materiálovým tokem, tj. probíhá „zprava doleva“. Začlenění buněk do celkového layoutu výrobní plochy je uvedeno dále, na obr. 8.16.

8.2.3 Porovnání výsledků původní a upravené metodiky

Výsledky výpočtů vzniklých z rovnic 6.13 a 7.1 jsou zřejmé z následující tabulky 8.20. Počet možností sestavení buněk je určen počtem kombinací pro zadanou testovací úlohu. Tabulka 8.11 zobrazuje porovnání počtů transportů pro jednotlivé kusy versus počet transportů boxů. Z tabulky vyplývá především očekávaný rozdíl výsledků, kdy dle metody dle Jaganathana je jako nejvýhodnější zvolena konfigurace 1,2,3,4,6 a 5,7 zatímco dle metody J-T je jako nejvýhodnější konfigurace určena konfigurace 1,5 a 2,3,4,6,7.

	Buňka 1	Buňka 2	Metoda dle Jaganathana
26	3,4,5	1,2,6,7	184 836
4	1,2,6	3,4,5,7	153 587
47	3,4	1,2,5,6,7	146 250
15	1,6,7	2,3,4,5	136 446
28	3,4,7	1,2,5,6	134 872
5	1,2,7	3,4,5,6	132 237
25	2,6,7	1,3,4,5	132 237
48	3,5	1,2,4,6,7	123 320
16	2,3,4	1,5,6,7	117 731
6	1,3,4	2,5,6,7	112 366
27	3,4,6	1,2,5,7	112 366
17	2,3,5	1,4,6,7	111 161
7	1,3,5	2,4,6,7	111 006
29	3,5,6	1,2,4,7	111 006
13	1,5,6	2,3,4,7	106 353
12	1,4,7	2,3,5,6	106 183
33	4,5,7	1,2,3,6	105 249
40	1,6	2,3,4,5,7	105 197
3	1,2,5	3,4,6,7	101 299
23	2,5,6	1,3,4,7	100 988
36	1,2	3,4,5,6,7	100 988

	Buňka 1	Buňka 2	Metoda J-T
26	3,4,5	1,2,6,7	15 821
47	3,4	1,2,5,6,7	13 419
5	1,2,7	3,4,5,6	12 036
25	2,6,7	1,3,4,5	12 036
4	1,2,6	3,4,5,7	12 023
48	3,5	1,2,4,6,7	11 483
15	1,6,7	2,3,4,5	11 368
6	1,3,4	2,5,6,7	11 194
27	3,4,6	1,2,5,7	11 194
28	3,4,7	1,2,5,6	10 463
7	1,3,5	2,4,6,7	10 372
29	3,5,6	1,2,4,7	10 372
8	1,3,6	2,4,5,7	9 979
16	2,3,4	1,5,6,7	9 808
49	3,6	1,2,4,5,7	9 530
17	2,3,5	1,4,6,7	9 319
22	2,4,7	1,3,5,6	9 261
24	2,5,7	1,3,4,6	8 969
37	1,3	2,4,5,6,7	8 781
12	1,4,7	2,3,5,6	8 732
30	3,5,7	1,2,4,6	8 724

45	2,6	1,3,4,5,7	100 988	33	4,5,7	1,2,3,6	8 657
51	4,5	1,2,3,6,7	100 102	3	1,2,5	3,4,6,7	8 258
1	1,2,3	4,5,6,7	98 848	46	2,7	1,3,4,5,6	8 251
18	2,3,6	1,4,5,7	98 848	23	2,5,6	1,3,4,7	8 238
34	4,6,7	1,2,3,5	98 848	36	1,2	3,4,5,6,7	8 238
22	2,4,7	1,3,5,6	98 693	45	2,6	1,3,4,5,7	8 238
30	3,5,7	1,2,4,6	98 302	1	1,2,3	4,5,6,7	8 208
8	1,3,6	2,4,5,7	97 537	18	2,3,6	1,4,5,7	8 208
10	1,4,5	2,3,6,7	93 701	34	4,6,7	1,2,3,5	8 208
32	4,5,6	1,2,3,7	93 701	20	2,4,5	1,3,6,7	8 062
42	2,3	1,4,5,6,7	92 446	42	2,3	1,4,5,6,7	7 759
20	2,4,5	1,3,6,7	92 390	2	1,2,4	3,5,6,7	7 613
49	3,6	1,2,4,5,7	91 135	9	1,3,7	2,4,5,6	7 613
19	2,3,7	1,4,5,6	87 299	21	2,4,6	1,3,5,7	7 613
53	4,7	1,2,3,5,6	86 534	31	3,6,7	1,2,4,5	7 613
11	1,4,6,	2,3,5,7	86 454	14	1,5,7	2,3,4,6	7 583
2	1,2,4	3,5,6,7	85 988	35	5,6,7	1,2,3,4	7 583
9	1,3,7	2,4,5,6	85 988	41	1,7	2,3,4,5,6	7 583
21	2,4,6	1,3,5,7	85 988	56	6,7	1,2,3,4,5	7 583
31	3,6,7	1,2,4,5	85 988	40	1,6	2,3,4,5,7	7 570
14	1,5,7	2,3,4,6	83 848	50	3,7	1,2,4,5,6	7 164
35	5,6,7	1,2,3,4	83 848	53	4,7	1,2,3,5,6	7 097
41	1,7	2,3,4,5,6	83 848	13	1,5,6	2,3,4,7	6 852
56	6,7	1,2,3,4,5	83 848	51	4,5	1,2,3,6,7	6 740
37	1,3	2,4,5,6,7	80 662	11	1,4,6,	2,3,5,7	6 580
46	2,7	1,3,4,5,6	79 639	43	2,4	1,3,5,6,7	6 502
50	3,7	1,2,4,5,6	79 587	10	1,4,5	2,3,6,7	6 291
24	2,5,7	1,3,4,6	78 483	32	4,5,6	1,2,3,7	6 291
38	1,4	2,3,5,6,7	73 830	44	2,5	1,3,4,6,7	6 013
52	4,6	1,2,3,5,7	73 830	19	2,3,7	1,4,5,6	5 842
43	2,4	1,3,5,6,7	73 675	38	1,4	2,3,5,6,7	5 449
39	1,5	2,3,4,6,7	72 470	52	4,6	1,2,3,5,7	5 449
54	5,6	1,2,3,4,7	72 470	55	5,7	1,2,3,4,6	5 358
44	2,5	1,3,4,6,7	67 105	39	1,5	2,3,4,6,7	4 627
55	5,7	1,2,3,4,6	49 964	54	5,6	1,2,3,4,7	4 627

Tabulka 8.20: Možnosti uspořádání buněk – porovnání výsledků získaných metodou dle Jaganathana a metodou J-T, (vlastní zpracování).

Při porovnání hodnot bond efektivity je zřejmé, že výpočet metodou J-T dosahuje vyšší hodnoty (0,62095), než výpočet dle Jaganathana (0,60344) viz kapitola 8.2.1, tj. lze říci, že uspořádání buněk, navržené metodou J-T je efektivnější.

8.3 APLIKACE METODY VSM

8.3.1 Výběr vhodných metrik

Jedním z možných přístupů pro analýzu logistických toků je metoda Mapování hodnotového toku (VSM). Metoda VSM je vizualizační nástroj, který slouží k identifikaci a k eliminaci plýtvání a současně je rovněž použitelný ke zlepšení materiálového toku (Womack, Jones, 1996). Je jednou

z metod pro zavádění filosofie Štíhlé výroby. Současná literatura, zabývající se štíhlou výrobou, uvádí studie, jako jsou např. (Martínez, Pérez, 2001; Pavanaskar a kol., 2003; Agarwal a kol., 2006), které navrhuji ke změření „míry štíhlosti“ výroby použít definované metriky. K tomu účelu byly v systémech štíhlé výroby zvoleny typické indikátory těchto procesů. Metrikami štíhlé výroby, které jsou pro studii tohoto typu nejvíce adekvátní, jsou např.: velikost skladu součástek, výše zásob v meziskladech, čas mezi přeskladem a míra štíhlosti.

Čas mezi přeskladem (dock-to-dock time) je čas, který výrobek stráví od přijetí v podniku do doby expedice, přičemž doba skladování ve skladu se do této doby nezapočítává. *Míra štíhlosti* (lean rate) je poměr mezi časem, který výrobku přidává hodnotu a časem, který výrobek stráví v podniku od doby dodání vstupního materiálu do podniku do doby expedice hotového výrobku zákazníkovi.

Řešením problému je reorganizace systému napříč výrobními linkami, směrem k fixnímu časovému rozvrhu dodávky materiálu s definovanou transportní cestou, vyzvedáváním prázdných obalů a dodáváním plných beden na vyznačená, fixní místa. Tento systém má charakter transportního systému pro horizontální pohyb materiálů a může být fyzicky realizován nasazením automaticky řízených vozíků, kontejnerů, nebo dopravního pásu, dle prostorového uspořádání jednotlivých výrobních prostor a přepravovanému objemu součástí. Dle (Coffey, Thornley, 2006) je v podnicích se štíhlou výrobou aktuální prioritou zorganizovat manuální části procesu. Jestliže se vozík pohybuje po své cestě a nejsou třeba žádné zastávky k doplnění materiálu či vyzvednutí prázdných obalů, vozík pokračuje dál v cestě.

Toto řešení je známé jako tedy *Zásobovací cyklus s pravidelným rozvozem (Milkrun)*. Jedná se o systém doplňování materiálu na pravidelné trase (protože se podobá systému doplňování zboží, používanému v malých supermarketech s omezeným množstvím místa v policích). Pracovník, doplňující regál, si na vozík s sebou bere vždy jen materiál, nezbytný pro momentální výrobu a zpět s sebou odváží prázdné boxy. Kapacita takového „supermarketu“ ve výrobních prostorách musí umožňovat dostatek materiálu mezi dvěma následujícími dodávkami, aby pracovník nemusel přerušit práci a čekat na materiál. Během cesty vozíku jsou rovněž odebrány prázdné boxy a jsou nahrazeny až během následující cesty vozíku. Úkolem tohoto systému (podporovaného systémem kanban) je integrovat interní dodávku součástek s jejich spotřebou v oblasti výroby.

8.3.2 Výběr vhodné rodiny výrobků

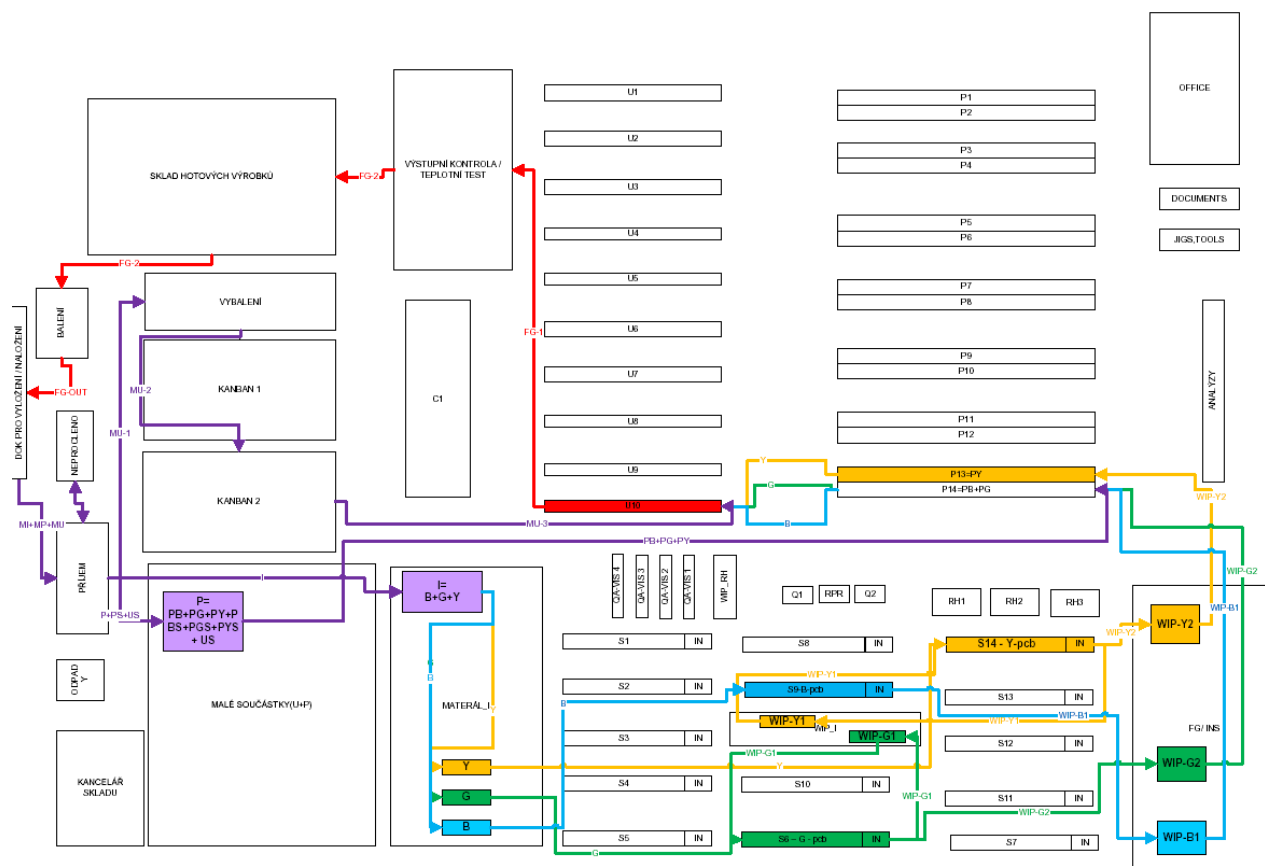
Pro analýzu byla vybrána rodina výrobků, které představují jednak poměrně vysoký objem v celkové produkci, nacházejí se ještě v počáteční fázi životního cyklu výrobku a v neposlední řadě se jedná o výrobek pro ze strategického hlediska důležitého zákazníka.

Tyto výrobky se vyrábí ve třech modelových provedeních, s odlišnostmi pro Evropské, Americké a Asijské trhy. Výrobek se skládá ze tří, dle příslušného trhu specifických, desek plošných spojů s konektory a propojovacími vodiči, optické mechaniky, externího velkorozměrového displeje, plechového šasi a příslušného spojovacího a drobného materiálu (šrouby, malé plastové díly, etikety, atd.).

Metodika VSM rozlišuje 2 stavy systému, který zkoumá: stav stávající a stav budoucí. Zobrazení (mapa) stávajícího stavu logistického toku bylo popsáno již v kapitole 4.1.1., včetně uvedení schématu uspořádání.

8.3.3 Budoucí stav uspořádání procesů

Pomocí metodiky VSM bylo navrženo nové uspořádání layoutu – viz mapa „budoucího uspořádání procesů“ (viz obr. 8.14).



Obr. 8.14: Schéma toku (špagetový diagram) budoucího uspořádání procesů (pro danou rodinu výrobků), (vlastní zpracování)

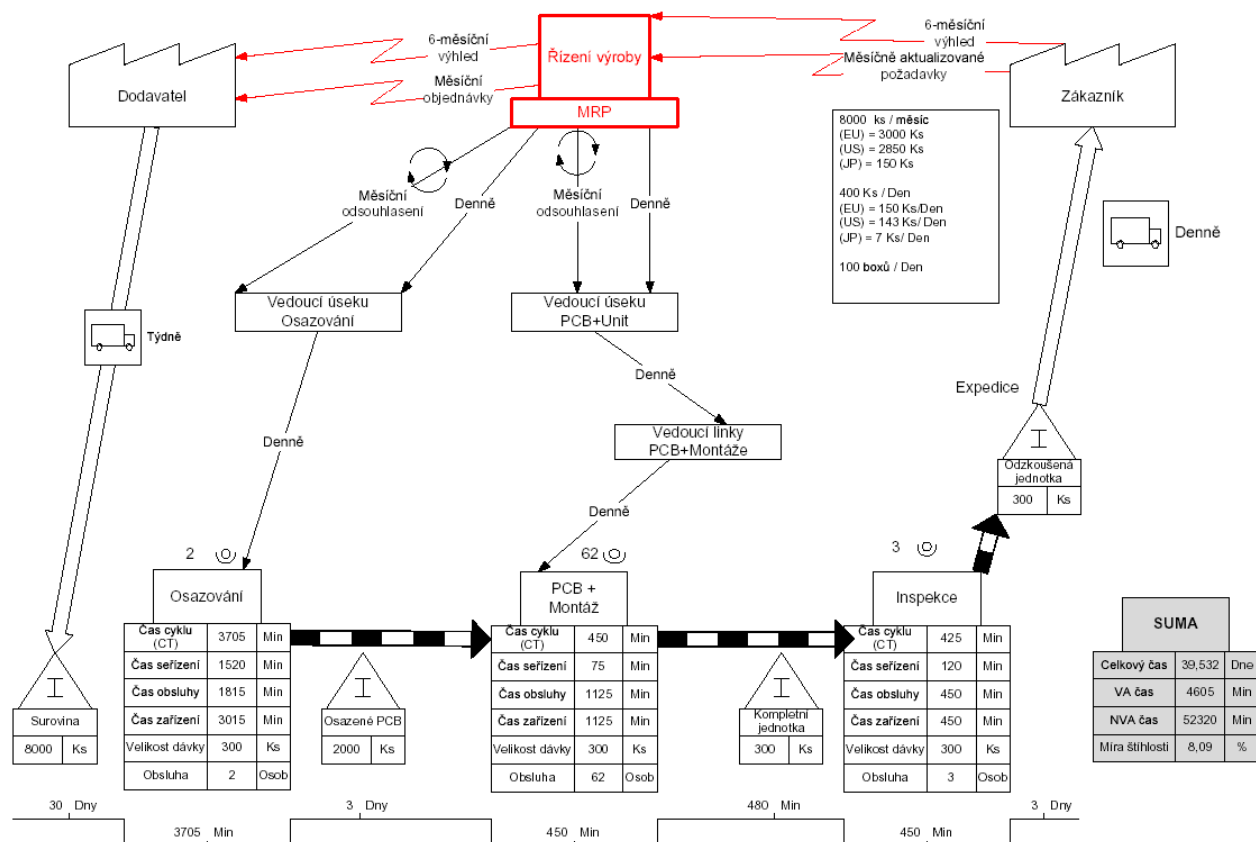
Navržené změny oproti stávajícímu uspořádání byly především:

1. Základní myšlenka uspořádání procesů do tvaru „U“ byla zachována – z důvodu ponechání umístění oblasti skladu beze změny. Alternativní, v daném případě (jak z hlediska minimalizace manipulace s materiálem, tak z hlediska zajištění kvality) ideální uspořádání materiálového toku do tvaru „I“, kdy z jedné strany budovy vstupuje materiál, a z druhé strany vystupují hotové výrobky, by znamenalo významné stavební zásahy do provedení budovy. Tato možnost byla hned ze začátku zamítnuta a optimalizace se zaměřila jen na uspořádání procesů ve stávajících prostorách.

2. Procesy byly seřazeny za sebe tak, aby fyzické uspořádání přesněji odpovídalo logickému seřazení. Výhodou je, již ze špagetového diagramu zřejmé, zpřehlednění, zjednodušení a zkrácení materiálového toku, ze kterého vyplývá i zkrácení tras, po kterých probíhá manipulace s materiálem.
3. Prostorové uspořádání, odpovídající přesně technologickým procesům, má rovněž pozitivní vliv na kvalitu výrobků. Obdobně jako u automobilů má vliv jejich konstrukce na „pasivní bezpečnost“ provozu vozidla, uspořádání logistického toku má obdobný vliv na zajištění kvality procesů, kdy vhodná „konstrukce“ prostorového uspořádání snižuje riziko, že jednotlivé polotovary výrobku „přeskočí“ určitý (výrobní či kontrolní) proces, což představuje jak riziko zvýšených nákladů na opravy, přetřídění, atd., tak také riziko, že se vadný výrobek dostane až k zákazníkovi. Vhodné uspořádání také podporuje systém zpracování FIFO a s ním související *zpětnou dohledatelnost* - (*traceability*).
4. Při porovnání mapy aktuálního a budoucího stavu je zřejmá také důležitá změna, kterou je zrušení skladu rozpracovaných výrobků mezi linkami PCB a Unit. Jednoduché fyzické spojení linek však není vhodné, protože by došlo k narušení materiálového zásobování na linkách Unit, kde by bylo nutné vstupní materiál transportovat ze skladu až na začátek linek PCB a dále mezi linkami PCB až na linku Unit. Dopravní trasy vstupního materiálu by se tím neúměrně prodloužily, plus manipulace mezi PCB linkami není vhodná z hlediska bezpečnosti a ergonomie práce. Proto je důležité zachovat zásobovací trasu mezi PCB a Unit procesy. Fyzické oddělení linek a vytváření zásoby na konci PCB a začátku Unit je rovněž nevhodné řešení. Proto je navrženo řešení založené na kompromisu, a to ve dvou variantách:
 - a. v případě zachování transportu materiálu pomocí manipulantů (osob) a ručně vedených vozíků je nutné mezi linky zařadit manipulátory, které budou osazené desky na konci PCB linek transportovat do výšky (nad uličku) a na začátku Unit linek zase zpět dolů do pracovní úrovně. Faktory k uvážení jsou zajištění bezpečnosti (riziko pádu desky dolů) a bezvadnosti funkce – jednoduchá přizpůsobitelnost různým rozměrům PCB desek, spolehlivost provozu.
 - b. Linky je možné propojit transportním pásem (mostového typu) ve stejné výšce (úrovni), jako je pracovní výška linek, a to za podmínky zavedení automatizovaného transportního systému, např. jednotlivých vozíků, pohybujících se samočinně po dopravní trase. Výška takového vozíku je navržena jako dostatečně malá na to, aby vozík včetně nákladu projel pod transportním pásem, přemostňujícím uličku. Toto řešení je nevýhodné z hlediska zamezení průchodnosti osob uličkou, znemožnění použití uličky jako evakuační cesty, atd. Výhodou automatizovaných vozíků je jednak úspora nákladů na personál, ale také do jisté míry systematizace průběhu procesů, kdy vozíky jsou nastaveny na fixní časy, což (obdobně jako pohyblivý pás na výrobní lince) pomáhá udržovat dané pracovní tempo a konstantní „rytmus“ procesů. Průběh procesu navážení materiálu pomocí automatických vozíků může být

zcela shodný s průběhem navážení prostřednictvím personálu. Požadavky na materiál do skladu jsou zadávány prostřednictvím kanbanů, předaných manipulaty linek do schránky, umístěné na vozíku. Skladoví manipulanti na základě doručení těchto kanbanů „systémem FIFO“ na právě odjíždějící vozíky nakládají požadované díly. Protože vozík není opatřen žádným automatickým zařízením, které zajistí, že vozík je na lince vyložen (a tudíž se nevrátí zpět do skladu s již vydaným materiálem), je možné v případě nutnosti zavést dodatečnou informaci manipulantovi linky od skladového personálu pomocí zvukové signalizace na vozících, za použití rádiové komunikace, či pomocí běžného přenosného interního telefonu.

5. Dále je ze schématu patrné, že návrh uvažuje zrušení „*Kanban supermarketu*“ na výrobní ploše, ve kterém byly vydávány malé součástky pro linky PCB a Unit. Tyto součástky budou součástí standardního zásobování pomocí vozíků. Tím se zamezí duplicitnímu uložení součástek ve skladu a v kanban supermarketu ve výrobě. Na základě nárazových odběrů docházelo k vyčerpání množství společných součástek a bylo nutné jejich dodání (extra) ze skladové zásoby. Do supermarketu byla dodávána kompletní balení a výdej probíhal včetně rozdělování na menší dávky (rozpočítávání, vážení). Toto rozdělování na menší části bude prováděno už v hlavním skladu, na dávky na základě cca 2- hodinového množství.
6. Obecně bude také možné, v případě nespotřebování odebraného množství, vracet odebraná jednotková – kanbanová - množství konkrétně určených položek (kompletní balení, tak jak je dáno objednávacím kanbanem) zpět do skladu. Toto se týká zejména položek, jejichž balení zaujímají velký objem – viz optické mechaniky, plechová šasi, atd. U těchto položek lze vzhledem k jejich malému počtu v přepravním boxu provést rychlou kontrolu, zda je množství kompletní. Vracení bude probíhat opět prostřednictvím vozíků, na které budou tato množství odkládána, obdobně jako prázdné přepravní boxy.



Obr. 8.15: Mapa budoucího uspořádání procesů (pro danou rodinu výrobků), (vlastní zpracování)

Z obrázku 6.7 je zřejmé, že při posouzení z hlediska celkového času výroby nemá změna layoutu zásadní vliv. Celkový čas trvání procesu se zkrátil o 2 směny, což ale za stávající hodnoty kolem 40- ti dnů není podstatné zlepšení. Hodnota efektivity využití času, jako poměr mezi časem, přidávajícím hodnotu a celkovým časem dokonce poklesla o 0,65%.

8.3.4 Úspory dosažené aplikací metody VSM

1. Zkrácení dopravních tras = redukce personálních nákladů na manipulanty. Celková původní délka trasy, po které bylo manipulováno materiálem (nezahrnuje manipulaci v rámci procesů) představující pro danou modelovou řadu **625 metrů**, byla zkrácena na **415 metrů**, což představuje zkrácení o **33%**.
2. Zavedení automatického transportního systému = redukce personálních nákladů na manipulanty. Přestože délka dvou zásobovacích „okruhů“ pro PCB a Unit linky, po kterých se zásobovací vozíky budou pohybovat, se prodloužila ze **156 metrů** na **210 metrů**, dojde k úspoře personálních nákladů. Odhadované náklady na zavedení systému automatických vozíků lze předpokládat na 3,1 mil. Kč (odhad). Roční náklady na manipulanty (aktuálně je zaměstnaných ve 2 směnách celkem 16 manipulantů) jsou 2,8 mil. Kč. Tj. návratnost investice lze uvažovat za cca 2 roky, pokud připočteme náklady na spotřebovanou elektrickou energii a náklady na údržbu vozíků.

3. Snížení rizika vzniku nákladů na nekvalitu a nákladů na vícepráce, jako je třídění neshodných kusů, jejich opravy, atd. Finanční vyjádření těchto úspor by bylo nepřesné, lze jen uvést, že náklady na nekvalitu dosahují v průměru 1,5 mil. Kč za rok. Pokud po změně prostorového uspořádání dojde (při vyloučení jiných důvodů) ke snížení těchto nákladů, lze tuto úsporu přikládat změně layoutu.

Podstatnému snížení průběžné doby výroby tedy samotná úprava prostorového uspořádání nepomůže. Je tedy nutné postoupit dále, k časům trvání jednotlivých procesů.

8.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ POUŽITÝCH METODIK A NAVRŽENÁ DOPORUČENÍ

Pro řešení konkrétní případové studie byly použity tři způsoby (metody). Byla to metoda skupinové technologie, navržená Jaganathanem, dále nově navržená metoda J-T a metoda mapování hodnotových toků.

Hlavním důvodem pro volbu těchto metod byla především strategická otázka, která v podniku existuje, a to do jaké míry implementovat strategii buňkové výroby a do jaké míry zachovat stávající uspořádání procesů ve formě výrobních linek. Jak je tedy z předchozího zřejmé, metoda mapování hodnotového se zabývá uspořádáním procesů, probíhajících na linkách, zatímco metoda skupinové technologie se zabývá buňkami.

Jestliže jsou vzaty v úvahu kapacitní poměry instalovaného zařízení, vychází jako možné, a také touto prací doporučené řešení, a to skloubení obou způsobů výroby. Konkrétně, pro operace automatického osazování (linky SMT) a pro operace montáže (linky Unit) použít původní linkové uspořádání a uspořádání buňkové aplikovat jen na operace dokončování desek plošných spojů (linky PCB).

Opodstatněním tohoto návrhu jsou požadavky na flexibilitu linek PCB, na které lze odpovědět právě přeformováním těchto operací do buněk. Zatímco technologická náročnost (tím je myšlena především náročnost na použité zařízení) linek automatického osazování je velmi vysoká, u linek Unit je podstatně nižší a u linek PCB je porovnání s dvěma dříve uvedenými nejvyšší.

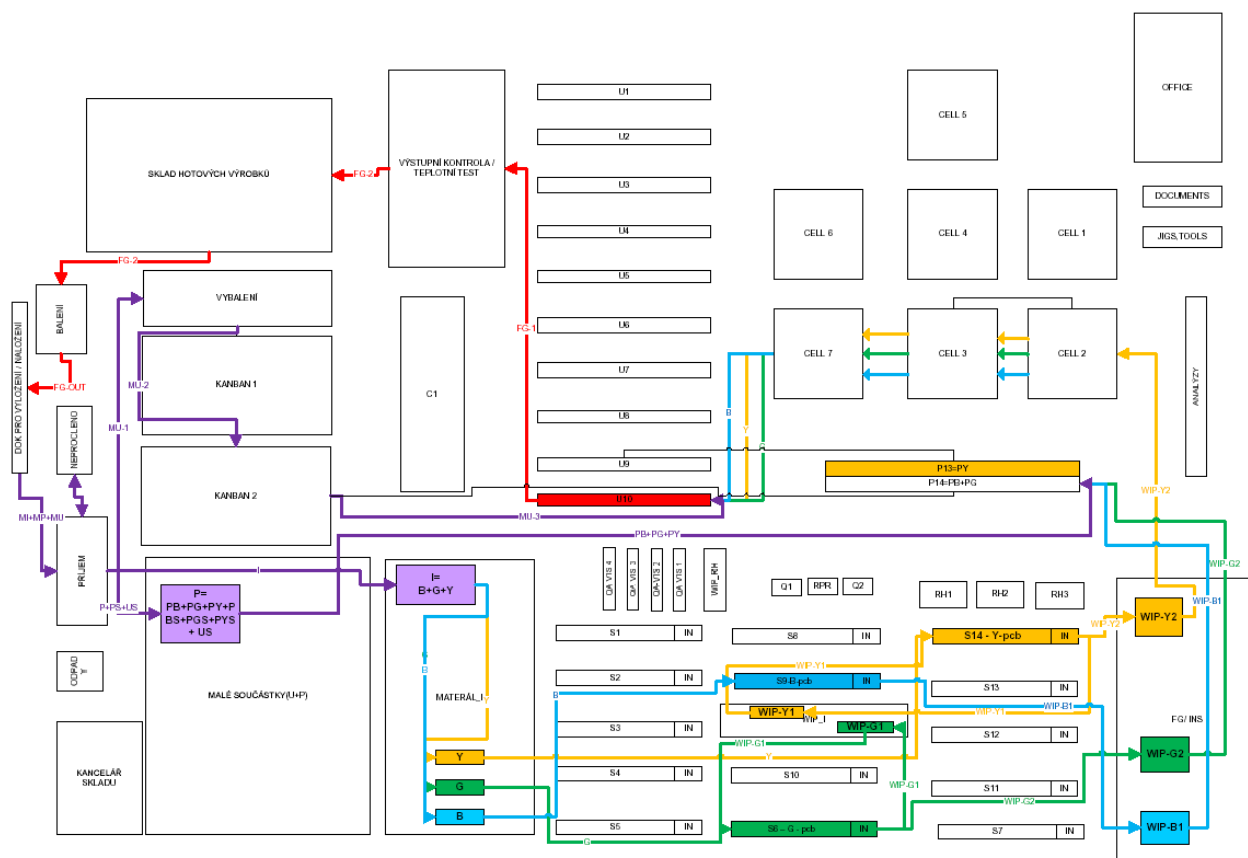
Jako systém manipulace s materiálem rozšířit již zahájenou implementaci systému kanban. Systém by měl fungovat mezi skladem a linkami Unit způsobem, jaký byl popsán v metodice VSM, tedy buď propojením skladu a linek Unit automatickými vozíky, nebo zachováním původní formy, tedy ručně vedených vozíků, obsluhovaných manipulanty. Na linky Unit by byly napojeny rovněž systémem kanban buňky, navržené metodikou J-T, kdy množství jednotlivých komponent v transportních boxech vytvářejí kanbanovou dávku.

Mezi procesy na linkách PCB a linkách automatického osazování je nutné již umístit bod rozpojení, protože z kapacitně-technologického hlediska je nevýhodné, aby systém kanban pokračoval dále.

Prakticky tedy linky automatického osazování budou pracovat na základě týdenního plánu (tedy systémem „push“) a další procesy již budou pokračovat systémem „pull“. Toto je samozřejmě za předpokladu, že i plánování exportu funguje na principu „pull“, tedy vyrobené kusy se odváží na základě odvolávek zákazníků, bez průběžného skladování.

Výsledný layout, získaný sloučením výsledků získaných metodou skupinové technologie a metodou VSM, je uveden na obr. 8.16. Do celkové mapy, která je vzata z metody VSM jsou namísto linek PCB implementovány buňky Cell 1 až Cell 7. Jejich prostorové vymezení ve schématu je zobrazeno jako čtvercové, což je nutné chápat jako zjednodušující zobrazení. Jejich reálný tvar bude různě obecný, protože budou složeny z jednotlivých malých pracovišť, na kterých bude montáž probíhat. Výše provedený výpočet metodou J-T stanovuje „jen“ jejich základní uspořádání vůči sobě tak, aby byly minimalizovány transportní vzdálenosti, přičemž nezahrnuje až do detailů propracovanou polohu jednotlivých pracovišť.

Celkové logické uspořádání buněk současně odpovídá jak procesům předcházejícím, tak procesům následujícím. Již z obrázku 8.10 vyplývá, že hlavní tok materiálu probíhá přes stroje „Cell“ 2-3-7. Tyto stroje jsou proto umístěny jednak co nejblíže skladu vstupního materiálu a jejich výstup je současně naproti linkám Unit (Unit 5-10), na kterých probíhají následující procesy. Na ostatních strojích – „Cell“ 1-4-6-5 je objem toku materiálu nižší, proto jsou umístěny dále od „osy“ hlavního toku materiálu a současně jejich výstup je rovněž blíže linkám Unit (Unit 1-4), na kterých probíhá následné zpracování.



Obr. 8.16: Schéma toku (špagetový diagram) navrženého výsledného uspořádání procesů (pro danou rodinu výrobků), (vlastní zpracování)

9 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM

Jak již bylo uvedeno, interní podniková logistika a správně fungující dodavatelský řetězec jsou v současnosti jednou z důležitých příležitostí pro zvyšování konkurenceschopnosti podniku. V současných podnicích stále existuje větší či menší prostor ke zlepšení v oblastech dodavatelského řetězce. Nejde přitom jen o podniky, které v nedávných desetiletích byly privatizovány, resp. měnily vlastníky a následně potřebovaly zásadní reorganizaci, ale jedná se i o podniky postavené zcela nově, označované „na zelené louce“, mezi které patří mnoho podniků z oblasti právě automobilového průmyslu a mezi které spadá i podnik, popisovaný v případové studii. Vhodně zvolený a citlivě zorganizovaný projekt pro zlepšení materiálového toku přinese podniku jak stabilitu vnitřních procesů, tak významné úspory a konkurenční výhodu.

9.1 REKAPITULACE DISERTAČNÍ PRÁCE

Tato disertační práce je rozdělena na celkem osm kapitol. Po úvodních kapitolách 1, 2 a 3, obsahujících úvod, cíle a východiska (vymezení pojmů řešeného problému) následuje kapitola 4, obsahující metodiku zpracování disertační práce, tedy jaké metody byly použity pro napsání práce.

Teoretická část práce začíná popisem a analýzou současného stavu problematiky optimalizace logistického toku a uvedením metod, které lze na logistické problémy aplikovat. Uvedeny jsou všechny tři skupiny metod, a to metody exaktní, metody heuristické a metody kombinované. Analýza metod pokračuje dále hledáním metody, vhodné pro aplikaci na oblast podnikové sféry, konkrétně pro použití ve výrobním podniku. Zde je prostor věnován zejména problematice návrhu layoutu, protože úloha návrhu vhodného layoutu je jednou z fundamentálních úloh každého podniku. Zatímco plánování výroby a obnova výrobních zařízení je záležitostí do jisté míry operativní a v čase proměnnou, v případě layoutu -pomineme-li uvedené výměny zařízení (staré za nové), nebo drobné prostorové úpravy v rámci oddělení, layout zůstává v zásadě obvykle několik let neměnný. Proto je také této úloze věnována největší pozornost. Na konci teoretické části je uveden vlastní vědecký přínos, a to upravená metodika, která lze použít pro praktický návrh layoutu.

Praktická část začíná popisem konkrétní případové studie, tj. současného stavu logistického systému podniku. Popis zahrnuje procesy řízení nákupu, výroby, prostorové uspořádání procesů a také problémy, které ze současného uspořádání vyplývají. Aplikace vhodných metod sestává z aplikací celkem tří metod na konkrétní problém. Výsledkem je doporučení pro změny konkrétního uspořádání materiálového toku.

9.2 NAPLNĚNÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavního cíle disertační práce, tedy vytvoření metodiky, která bude vhodná k aplikaci na problém uspořádání a optimalizace toku materiálu ve výrobním podniku, bylo dosaženo. Tato metodika vychází ze základu, daného metodou skupinové technologie, který byl upraven pro vhodnější praktickou aplikaci.

Dílčího cíle aplikace metodiky na případovou studii bylo také dosaženo; pro porovnání byla aplikována metodika původní i metodika upravená. Aby bylo možné zformulovat závěrečná doporučení, byla aplikována rovněž známá a v praxi užívaná metodika mapování hodnotových toků. Praktickým výsledkem je návrh na úpravu stávajícího uspořádání procesů v podniku.

9.3 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Přínos pro teorii

Přínosem pro teorii je ověření jednotlivých metodik, do jaké míry jsou aplikovatelné na jednotlivé problémy z oblasti optimalizace toku materiálů a jaké jsou omezující podmínky, výhody a nevýhody těchto metodik a současně vytvoření vlastní metodiky na základě této analýzy.

Přínos pro praxi

Z praktického hlediska je práce příspěvkem ke stále frekventované otázce optimálnosti uspořádání podnikových procesů, kterou si pokládají v každém, či téměř každém podniku nejen vedoucí manažeři a pracovníci, kteří jsou za tyto procesy zodpovědní, ale často i zaměstnanci nejnižších úrovní, poukazující přitom na přílišnou komplikovanost či domnělou nelogičnost spatřovanou v oblasti jejich pracovních úkolů; v některých případech nezbývá, než jim skutečně „dát za pravdu“ a tyto jejich podněty použít k úpravám a zlepšení procesů.

Konkrétně, přínosem je jednak přehled optimalizačních metod, které lze použít pro zlepšení v konkrétním podniku. Tento přehled poskytuje odpovědným manažerům základní metodickou orientaci a možnosti použití metod. Následná případová studie je přínosem jak pro konkrétní podnik, tak i jako zdroj informací a inspirace pro obdobné studie.

Přínos pro pedagogiku

Tato práce může posloužit jako výukový materiál v předmětech, které jsou vyučovány na ekonomických fakultách, ve kterých je přednášeno o řízení dodavatelského řetězce, především výroby a logistiky.

9.4 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM

Disertační práci lze chápat jen jako příspěvek k dané tematice, protože se jedná jen o malou část výzkumu ve velmi rozsáhlé oblasti logistiky a řízení dodavatelského řetězce. Na teoretickou část práce lze navázat především dalšími úpravami a zlepšeními v oblasti metodiky skupinové technologie. Rozdělení jednotlivých výrobních procesů na operace do sedmi skupin strojů lze ještě dále dělit do jednotlivých pracovišť a následně se zabývat interakcí a vzájemnými vazbami těchto jednotlivých pracovišť.

Rovněž je třeba vzít v úvahu, že ačkoli v úvodu kapitoly 6 je uveden celý přístup „integrovaného výrobního systému“, byla z něj detailněji zkoumána jen kapitola návrhu layoutu, zatímco další části, kterými jsou plánování, rozvrhování výroby a rozvrhování distribuce již zkoumány nejsou. Lze tedy říci, že tato disertační práce je začátkem pro celkovou optimalizaci logistického toku podniku, kdy kompletní optimalizace by byla dokončena teprve po posouzení

všech uvedených komponent logistického toku. Nicméně layout, navržený touto prací, je platným řešením pro zadané hodnoty logistického systému podniku. Lze také dodat, že praktickou část by bylo vhodné ještě doplnit o finanční porovnání navržených variant a detailní plán implementace navržených řešení.

10 POUŽITÁ LITERATURA

- (1) AGARWAL, A. - SHANKAR, R. - TIWARI, M. K. (2006). Modeling the metrics of lean, agile and legible supply chain: an ANP-based approach. *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 173 No.1, p.211-25. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2004.12.005>.
- (2) BAKER, K. R. (1993). A comparative study of lot streaming procedures. *Omega*, Elsevier B.V. 1993, Vol. 21, pp. 561-566. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0305-0483\(93\)90024-F](http://dx.doi.org/10.1016/0305-0483(93)90024-F)
- (3) BALLOU, R. H. (1998). *Business Logistics Management*. 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1998. 696p. ISBN: 01-37956-59-2.
- (4) BLAZEWICZ, J. et. al. (1996). *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- (5) BLAZEWICZ, J. et. al. (2002). *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*. Berlin: Springer-Verlag, 2002. 2nd ed. 485p. ISBN: 35-40419-31-4.
- (6) BLAZEWICZ, J.; PESCH, E.; MALGORZATA, S. (2000). The disjunctive graph machine representation of the job shop scheduling problem. *European Journal of Operations Research*, 2000, vol. 127, pp 317-331.
- (7) BRIXIUS, N.W., ANSTREICHER, K.M. (2001). *The Steinberg Wiring Problem*. To appear in, *The Sharpest Cut*, M. GrÄotschel, ed., SIAM.
- (8) CALVO, R. - DOMINGO, R. - RUBIO, E. M. (2006). A heuristic approach for decision-making on assembly systems for mass customization. *Materials Science Forum*, 2006, Vol. 526 p. 1-6. Available at: www.scientific.net/0-87849-417-0/1/.
- (9) CARLSON, R.C. - NEMHAUSER, G.L. (1966). Scheduling to minimize cost. *Operations Research* 14, 52-58.
- (10) CASEAU, Y. - LABURTHER, F. (1995). Improving Branch and Bound for Jobshop Scheduling with Constraint Propagation. *Proceedings of the 8th Franco – Japanese 4 Franco – Chinese Conference CCS'1995*.

- (11) COFFEY, D. - THORNLEY, C. (2006). Automation, motivation and lean production reconsidered. *Assembly Automation* 2006, Vol. 26 No.2, p.98-103. Available at: www.emeraldinsight.com/10.1108/01445150610658068.
- (12) CONWAY, R. W. - MAXWELL, W. L. - MILLER, L. W. (1967). *Theory of scheduling*. Reprint of original from 1967. Mineola, N.Y.: Dover, 2003. 294 p. ISBN 04-86428-17-6.
- (13) DEBNÁR, P. - KYSEL', M. (2005). *Mapovanie toku hodnôt vo výrobe*. Školící materiál IPA Slovakia, 2005. Bez ISBN.
- (14) DELL' AMICO, M.; TRUBIAN, M. (1993). Applying tabu-search to the job shop scheduling problem. *Operational Research*, 1993, vol. 41, pp. 231-252.
- (15) ELSHAFEI, A. N. (1977). Hospital Layout as a Quadratic Assignment Problem. *Operations Research Quarterly* 28, 167-179.
- (16) EMORY, C. W. - COOPER, D. R. (1991). *Business research methods*. 4th ed. Boston, MA: IRWIN, 1991. 760 p. ISBN 02-56092-65-6.
- (17) FRENCH, S. (1986). *Sequencing and scheduling 1. Scheduling Management*. NY: Ellis Horwood Limited, 1986. ASIN: B000KXAX68.
- (18) GEN, M.; LIN, L.; ZHANG, H. (2008). Evolutionary Techniques for Optimization Problems in Integrated Manufacturing System: State-of-the-Art-Survey. *Computers and Industrial Engineering*, 2008, accepted Manuscript.
- (19) GEOFRION, A.M. - GRAVES, G.W. (1976). Scheduling Parallel Production Lines with Changeover Costs: Practical Applications of a Quadratic Assignment/LP Approach. *Operations Research* 24, 595-610.
- (20) GIFFLER, B.; THOMPSON, G. (1960). Algorithms for Solving Production Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*, 1960, vol. 8, pp. 487-503.
- (21) HANAN, M. – KURTZBERG, J.M. (1972). A Review of the Placement and Quadratic Assignment Problems, *SIAM Review* 14, 324-342.
- (22) HWANG, H. S. (2004). Heuristic transporter routing model for manufacturing facility design. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier B.V. 2004, Vol. 46 No.2, p.243-51. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2003.12.021>.

- (23) CHENG, R. - GEN, M. - TSUJIMURA, Y. A. (1996). Tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms - I. Representation. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier Elsevier B.V. 1996, Vol. 30, No. 4, pp. 983-997. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00047-2](http://dx.doi.org/10.1016/0360-8352(96)00047-2)
- (24) CHENG, R.; GEN, M. (1998). Loop Layout Design Problem in Flexible Manufacturing Systems Using Genetic Algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 1998, vol. 34, pp. 53-61.
- (25) CHENG, R.; GEN, M.; TSUJIMURA, Y. (1999). A Tutorial Survey of Job-Shop Scheduling Problems Using Genetic Algorithms - II. hybrid genetic search strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 1999, vol. 36, pp. 343-364.
- (26) ISHIBUCHI, H.; YAMAMOTO, N.; MURATA, T.; TANAKA, H. (1994). Genetic Algorithms and Neighborhood Search Algorithms for Fuzzy Flowshop Scheduling Problems. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994, vol. 67, pp. 81-100.
- (27) JAGANATHAN, J.K.J: Solution to Large Facility Layout Problems Using Group Technology (2007). *Wichita State University Thesis*, 2007.
- (28) JAIN, A.S.; MEERAN, S. (1999). Deterministic Job Shop Scheduling: Past, Present and Future. *European Journal of Operations Research*, 1999, vol. 113, pp. 390-434.
- (29) JANČAROVÁ, V. - ROSICKÝ, A. (1998). *Úvod do systémových věd*. Praha: VŠE, 1998. 143 s. ISBN 80-70799-33-1.
- (30) JANÍČEK, P. - ONDRÁČEK, E. (1998). *Řešení problémů modelováním. Téměř nic o všem*. 1.vyd. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1998. 334 s. ISBN 80-21412-33-X.
- (31) JOHNSON, S. M. (1954). Optimal two - and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Res. Logist*, 1954, quart. 1, p. 61-68.
- (32) KILPATRICK, J. K. (2003). *Lean Principles*. Utah Manufacturing Extension Partnership 2003, bez ISBN.
- (33) KISPERSKA, A. - MORON, D. (2003). Responsibilities for inventory decisions in Polish manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, Elsevier B.V. 2003, vol. 81-82, p.129-139. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(02\)00285-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00285-2)
- (34) KLAPKA, J. (1970). *Dynamické programování*. Praha: SNTL, 1970.

- (35) KŁAPKA, J.; DVOŘÁK, J.; POPELA, P. (2001). *Metody operačního výzkumu*. Brno : VUT, 2001.
- (36) KNUTH, D. (1974). Structured Programming with go to Statements. In *ACM Journal Computing Surveys*, Dec. 1974, Vol. 6, No. 4, p. 268. ISBN: 09-17072-14-6.
- (37) KVASNIČKA, V. - POSPÍCHAL J. - TIŇO, P. (2000). *Evolučné algoritmy*. Bratislava : STU, 2000. 215s. ISBN 80-22713-77-5.
- (38) LAARHOVEN, van, P.J.M.; AARTS, E.H.L.; LENSTRA, J.K. (1992). Job shop scheduling by simulated annealing, *Operational Research*, 1992, vol. 40, pp. 113-125.
- (39) LEE, K., ROH, M., JEONG, H. (2005). An improved genetic algorithm for multi-floor facility layout problems having inner structure walls and passages. *Computers & Operations Research*. Elsevier B.V. 2005, vol. 32, pp 879 - 899.
- (40) LEJTMAN, Y. - SHAYAN, E. - NAGARAJAH, R. (2002). Design of a suitable production management system for a manufacturing company. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier B.V. 2002, Vol. 42, No.2/4, p. 169-74. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(02\)00012-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(02)00012-8).
- (41) MARTÍNEZ, A. - PÉREZ, M. (2001). Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, 2001, Vol. 21 No.11, p.1433-52. Available at: www.emeraldinsight.com/10.1108/01443570110407436.
- (42) MATSUO, H.; SUH, C.J.; SULLIVAN, R.S. (1988). A controlled search simulated annealing method for the general job shop scheduling problem, *working paper 03-04-88*, University of Texas, Austin 1988.
- (43) METROPOLIS, N. et. al. (1963). Equation for State Calculation for Fast Computing Machines. *J. Chem. Phys.*, 1963, vol. 21, pp. 1087-1092.
- (44) NAIR, G.J.- NARENDHAN, T.T.: (1998) Case: A clustering Algorithm for Cell formation with Sequence Data. *International Journal of Production Research*, 1998. Vol.36, Issue 1, p.157-180.
- (45) NOWICKI, E. - SMUTNICKI, C. (1996). A Fast Taboo Search Algorithm for the Job Shop Problem. *Management Science*, Elsevier B.V. 1996, Vol. 42, No. 6, pp. 797-813. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00037-2](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(95)00037-2)
- (46) OTTEN, R.H.J.M.; van GINEKEN, L.P.P.P. (1989). *The Annealing Algorithm*. Boston: Kluwer, 1989.

- (47) ÖZELKAN, E. C. - DUCKSTEIN, L. (1999). Optimal Fuzzy Counterparts of Scheduling Rules. *European Journal of Operational Research*, Elsevier B.V. 1999, Vol. 113, pp. 593-609. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00445-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00445-1).
- (48) PAVANASKAR, S. J. - GRSHENSON, J. K. - JAMBEKAR, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, Elsevier B.V. 2003, Vol. 41 No.3, p.3075-90. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/0020754021000049817>.
- (49) PERNICA, P. (1983). *Možnosti racionalizace fyzického oběhu zboží s uplatněním velkých kontejnerů ISO*. Studie VÚO Praha, 1983.
- (50) PERNICA, P. (2005). *Logistika pro 21. století*. 1.vyd. Praha: Radix, 2005. 583 str. ISBN 80-86031-59-4.
- (51) PERNICA, Petr. (1998). *Logistický management*. 1.vyd. Praha: Radix, 1998. 660 s. ISBN 80-86031-13-6.
- (52) PEZZELLA, F.; MERELLI, E. (1998). A tabu search method guided by shifting bottleneck for job shop scheduling problem. *European Journal of Operations Research*, 1998, vol. 120, pp. 297-310.
- (53) PLESNÍK, J. (1983). *Grafové algoritmy*. Bratislava : VEDA, 1983.
- (54) QUARTERMAN, L. - SYNDLER, B. (2006). *Value Stream & Process Mapping*. 2nd ed. Bellingham, WA: Enna Products Corporation, 2006. 151p. ISBN 18-97363-43-5.
- (55) RAIS, K.; DOSTÁL, P. (2004). *Operační a systémová analýza II*. Skriptum FP VUT. Brno: Cerm, 2004. 161s. ISBN: 80-214-2803-1.
- (56) RAIS, K.; DOSKOČIL, R. (2006). *Operační a systémová analýza I*. Skriptum FP VUT. Brno: Cerm, 2006. 108s. ISBN: 80-214-3280-2.
- (57) REEVES, C. R. (2000). *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. NY: McGraw Hill Book Co. Ltd, 2000. 320p. ISBN 00-77092-39-2.
- (58) RESENDE, M.G.C., RAMAKRISHNAN, K.G., DREZNER, Z. (1995). Computing Lower Bounds for the Quadratic Assignment Problem with and Interior Point Algorithm for Linear Programming. *Operations Research* 43, 781-791.
- (59) ROTHER, M., SHOOK, J. (1999). *Learning to see*. Lean enterprise institute, Brooklyn, 1999. ISBN 80-902235-67.

- (60) SAKAWA, M.; KUBOTA, R. (2000). Fuzzy programming for multiobjective job shop scheduling with fuzzy processing time and fuzzy due date through genetic algorithms. *European Journal of Operations Research*, 2000, vol. 120, pp. 393-407.
- (61) SETHI, A. K. - SETHI, S. P. (1990). Flexibility in manufacturing: A survey. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Elsevier B.V. 1990, Vol. 2 No. 4, p. 289-328. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00186471>
- (62) SHAH, R. - WARD, P. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operation Management*, Elsevier B.V. 2003, Vol. 21 No.2, p.129-49. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- (63) SHIMIZU, Y. - WADA, T. - YAMAZAKI, Y. (2006). Logistics optimization using hybrid metaheuristic approach under very realistic conditions. *Computer Aided Chemical Engineering*, Elsevier B.V. 2006, Vol.21, issue 2, p. 2051-2056. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S1570-7946\(07\)80145-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80145-3)
- (64) SILVA, C. A. - SOUSA, J. M. C. - RUNKLER, T. A. - PALM, R. (2005). Soft computing optimization methods applied to logistic processes. *International Journal of Approximate Reasoning*, Elsevier B.V. 2005, Vol. 40, issue 3, p. 280-301. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijar.2005.06.004>
- (65) SILVA, C. A. - SOUSA, J. M. C. - RUNKLER, T. A. (2008). Rescheduling and optimization of logistic processes using GA and ACO. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier B.V. 2008, Vol. 21, issue 3, p. 343-352. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2007.08.006>
- (66) SORIANO-MEIER, H. - FORRESTER, P. (2002). A model for evaluating the degree of leanness of manufacturing firms. *Integrated Manufacturing Systems*. 2002, Vol. 2 No.2, pp.104-9. Available at: www.emerald-library.com/10.1108/09576060210415437.
- (67) SULLIVAN, W. G. - MCDONALD, T. N. - VAN AKEN, E. M. (2002). Equipment replacement decisions and lean manufacturing. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, Elsevier B.V. 2002, Vol. 18 No.3/4, p.255-65. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0736-5845\(02\)00016-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00016-9).
- (68) SVOBODA, V., LATÝN, P. (1998). *Logistika*. Skriptum FD ČVUT. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 150s. ISBN: 80-01-01325-1.
- (69) ŠEDA, M. - DVOŘÁK, J. (1998). An Application of Heuristic Techniques to Permutation Flowshop Scheduling Problem. *Proceedings of the 4th International Conference on Genetic Algorithms, Optimization Problems, Fuzzy Logic, Neural Networks and Rough Sets MENDEL '98*, Brno, 1998, p. 132-138.

- (70) TEKESTE, B. H. (2001). The role of Information Technology (IT) in logistics in Ethiopia. *In conference on information communication technologies and development*, Addis Abeba, 18-20 June, 2001.
- (71) TRUNĚČEK, J. (1997). Deskriptivní modelování strategických rozhodovacích procesů. *Podniková organizace*, 1997, č. 11.
- (72) VELIKANIČ, J. (1976). *Výskumné metódy v pedagogickej a pedagogicko-psychologickej diagnostike*. 2.vyd. Bratislava: ŠPN 1976, 136s. Bez ISBN
- (73) WOMACK, J. - JONES, D. - ROOS, D. (1991). *The Machine that Changed the World*. New York, NY: Harper Perennial, 1991. 336 p. ISBN 00-60974-17-6.
- (74) WOMACK, J. P. - JONES, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 1st ed. New York, NY: Simon & Schuster, 1996. 352 p. ISBN 06-84810-35-2.
- (75) WON, Y. - LEE, K.C. (2001). Group Technology Cell Formation considering Operation sequences and Production Volumes. *International Journal of Production Research*, 2001, Vol. 39, Issue 13, p. 2755-2768.
- (76) XU, H. - XU, R. - YE, Q. (2006). Optimization of Unbalanced Multi-stage Logistics Systems Based on Prüfer Number and Effective Capacity Coding. *Tsinghua Science & Technology*, Elsevier B.V. 2006, Vol. 11, issue 1, p.96-101. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S1007-0214\(06\)70160-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1007-0214(06)70160-2)
- (77) YAMADA, T. - NAKANO, R. A. (1995). Genetic Algorithm with Multi-Step Crossover for Job Shop Scheduling Problems. *Proceedings of the International Conference GALESIA '95*, Sheffield, 1995, p. 146–151.