



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta strojní



# Strategie rozvrhování pracovníků na výrobní linky

Disertační práce

*Studijní program:* P2301 – Strojní inženýrský  
*Studijní obor:* 2301V031 Výrobní systémy a procesy  
*Autor práce:* **Ing. Jan Vavruška**  
*Vedoucí práce:* doc. Dr. Ing. František Manlig





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

# Strategies of assigning workers on production lines

Dissertation

*Study programme:* P2301 – Mechanical Engineering

*Study branch:* 2301V031 Manufacturing Systems and Processes

*Author:* **Ing. Jan Vavruška**

*Supervisor:* doc. Dr. Ing. František Manlig

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Disertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé disertační práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému školiteli doc. Ing. Dr. Františku Manligovi za trpělivost, odborné vedení a cenné podněty, které pomohly vzniku této disertační práce.

Taktéž děkuji za podporu zaměstnanců Technické univerzity v Liberci zejména pak zaměstnancům Katedry výrobních systémů a automatizace na Fakultě strojní.

Dále děkuji zaměstnancům Tetraco International s.r.o. za poskytnutí informací o jejich výrobním systému a za cenné rady a připomínky při tvorbě reálných modelů vedoucích k rozšíření a ověření znalostí o výrobních linkách.

Velké poděkování patří mé rodině a přátelům, bez jejichž bezmezná podpora by tato práce nikdy nevznikla.

Zvláštní poděkování pak patří Kristýně Rýznarové.

## ANOTACE

Předkládaná práce vychází ze stavu řešení problematiky výrobních systémů a logistiky na pracovišti Katedry výrobních systémů a automatizace, Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci a navazuje na problematiku rozvrhování zakázek Ing. Františka Koblasy, Ph.D. Návaznost spočívá v obecném analyzování stavu problematiky technických řešení a jejich vlivu na řízení a efektivitu výroby a ve vytipování oblastí, kde a v jaké míře, případně s jakým efektem je možné ji ovlivnit organizačními opatřeními v oblasti strategie řízení dílny. V rámci práce byl také vytvořen model pro ověřování efektivit strategií při rozvrhování pracovníků pomocí simulace.

Autor práce se zabývá problematikou rozvrhování a řízení pracovníků na úrovni mistra, supervizora a teamleadera. Přesněji jeho práce je orientována na montážní a výrobní linky s filozofií One piece flow. V práci jsou rozebrány současné způsoby balancování a rozvrhování pracovníků, spolu s jejich výhodami a nevýhodami.

Pozornost je věnována především systémům obsluhy linek, rozvrhování pracovníků a balancování. Dále se zaměřuje na výrobu s výrobním mixem, realizovanou na pracovištích do „O“ s výskytem tzv. plovoucích úzkých míst.

Jsou definovány hypotézy předpokládaného chování výrobního systému při uplatnění tří strategií: Work zone, Rabbit chase a Bucket brigades.

Hypotézy byly ověřovány pomocí simulačních experimentů v prostředí Witnessu. Experimentálně byly ověřovány klíčové vlastnosti jednotlivých strategií při rozvrhování výrobních úkolů v rámci výrobního (montážního) týmu.

V průmyslové praxi byly ověřeny požadavky na simulační modely. Do modelů byly doplněny další, ovlivňující výsledky experimentů. V rámci testování jednotlivých strategií na jednom z montážních úseků byly vysledovány požadavky na monitorování práce v rámci montážního týmu.

Výstupy experimentů byly následně diskutovány. Byly tak významně rozšířeny poznatky o vybraných strategiích, především adaptabilita strategií na nedokonalosti reálného prostředí, které byly při teoretické formulaci strategií zanedbány.

Na základě nově získaných poznatků byla vytvořena metodika pro podporu rozhodování při volbě strategie týkající se rozvrhování a řízení pracovníků na flexibilních výrobních linkách.

Získané poznatky o chování výrobního systému při uplatnění jednotlivých strategií obsluhy a vytvořené simulační modely a experimenty společně s vytvořenou metodikou mají pomoci při rozhodovacích procesech na úrovni dílny. Rozšiřují tak možnosti systémů určených na podporu rozhodování DSS (z angl. Decision Support Systems).

**Klíčová slova:** rozvrhování, strategie, balancování pracovníků, samoorganizace, pracovní zóny, Rabbit chase, Bucket brigades

## ANNOTATION

This dissertation is based on a state of solution to the issues of production and logistics systems at the Department of Manufacturing Systems and Automation, Faculty of Engineering, TU of Liberec. It is to expand the topic of production scheduling done by Ing. František Koblasa Ph.D.

The linkage and continuity is in the general analysis of the situation and the field of Scheduling. It examines the impact of technical solutions on the complexity of production control and production efficiency. The aim of the PhD thesis is to identify opportunities for organization solutions, when and to what extent, and possibly what kind of effect it is possible achieve by changing the control strategy in the production department. In this work also introduces a model to verifying the effectiveness of strategies to schedule assignment of workers by using simulation.

The author of this work deals with the issue of workers assignment and staff management at the level of a foreman, supervisor or team leader. Specifically, the authors focus is on assembly and production line management using the philosophy of One piece flow. The current methods of balancing and workers assignment are analysed in this work, along with their advantages and disadvantages.

The thesis applies the systems of manufacturing lines, workers' assignment and line balancing. It is also focusing on manufacturing with a product mix implemented at "O" shaped workplaces with the occurrence of so-called floating bottlenecks.

The defined hypotheses were within anticipated behaviour of the production system in the application of the three strategies "Work zones", "Rabbit chase" and "Bucket Brigades".

The hypotheses were verified using simulation experiments in the Witness software. The key characteristics of the individual assignment strategies of production tasks in the manufacturing (assembly) team were verified by the experiment.

The specification of simulation models were verified in serial production. The model has been complemented by other factors affecting the system outputs. The requirements for the system of work monitoring within the assembly team were found out as part of the testing of individual strategies on one of the assembly sections.

The outputs of experiments were then discussed, so the knowledge about the chosen strategies was significantly expanded. Above all we talk about the adaptability of strategies to imperfections in real practice that were neglected at level of theoretical formulation of strategies.

The methodology or decision support of choosing the strategy of assignment and operation staff management on flexible production lines, was made on the basis of newly acquired knowledge.

The survey on the behaviour of the production system in the application of strategies Work zones, Rabbit chase and Bucket brigades, created simulation models with experiments together with created methodology, should help in decision-making processes on the level of manufacturing section. Thus it also expands possibilities for the Decision Support System (DSS).

**Key words: scheduling, strategy, balancing workers, self-organizing, work zones, Rabbit chase, Bucket brigades.**

## OBSAH

1	Přehled současného stavu problematiky.....	16
1.1	Direktivní řízení.....	17
1.2	Autonomní řízení.....	18
1.3	Motivace a řešená problematika .....	19
2	Úvod do problematiky linek.....	20
2.1	Úvod do problematiky rozvrhování.....	22
2.1.1	Dělbba práce a potřeba rozvrhovat.....	22
2.1.2	Rozvrhování pracovníků (Worker assignment).....	23
2.1.3	Matematické modelování pro rozvrhování pracovníků.....	23
2.2	Rozvrhování úkonu na stanice.....	24
2.2.1	Členění činností .....	24
2.2.2	Precedenční (Prioritní) graf návazností .....	25
2.2.3	Line balancing .....	26
2.3	Kategorizace montážních linek. ....	27
2.4	Shrnutí poznatků z rešerše .....	31
2.5	Dílčí vymezení problematiky .....	32
3	Strategie obsluhy linky.....	33
3.1	Work zones - WZ .....	33
3.2	Rabbit chase / OPF –Caravans .....	36
3.3	Chacku Chacku.....	38
3.4	Bucket brigades / Forage retrieval in ants .....	39
3.5	Hybridní strategie .....	40
3.6	Faktory ovlivňují výsledné parametry systému.....	42
3.6.1	Změna taktu – počtu pracovníků .....	42
3.6.2	Osobní výkonnost pracovníků .....	42
3.6.3	Pořadí pracovníků.....	43
3.6.4	Přecházení mezi operacemi .....	43
3.6.5	Vybalancování procesu.....	43
3.6.6	Časová náročnost operace .....	44
3.6.7	Opakovatelnost činnosti .....	44
3.6.8	Motivace pracovníků .....	44
4	Cíle disertační práce .....	46
4.1	Reflexe v rámci případové studie .....	47
4.2	Stanovení hypotéz.....	48
4.2.1	Hypotéza $1H_0$ .....	48



4.2.2	Hypotéza $2H_0$ .....	49
4.2.3	Hypotéza $3H_0$ .....	49
4.2.4	Hypotéza $4H_0$ .....	49
5	Simulační model a datová báze .....	50
5.1	Typické úlohy řešené počítačovou simulací.....	51
5.2	Princip počítačové simulace výrobních systémů.....	52
5.3	Simulační projekt.....	52
5.4	Softwarové produkty .....	53
5.5	Použitý simulační nástroj.....	54
6	Simulace – Experimenty .....	56
6.1	Řídicí logika modelu podle strategií.....	56
6.1.1	Řídicí logika strategií WZ .....	56
6.1.2	Řídicí logika strategií RC .....	57
6.1.3	Řídicí logika strategií Chacku Chacku .....	58
6.1.4	Řídicí logika strategií BB .....	59
6.2	Simulační model pro řízené experimentování .....	60
6.2.1	Části simulačního modelu .....	60
6.3	Datová základna .....	63
6.4	Metriky, ukazatele a parametry linek .....	64
7	Vlastní výsledky simulace.....	66
7.1	První simulační blok.....	66
7.1.1	Hypotéza $1H_0$ .....	67
7.1.2	Hypotéza $2H_0$ .....	69
7.1.3	Hypotéza $3H_0$ .....	69
7.1.4	Závěry z 1. simulačního bloku .....	69
7.2	Druhý simulační blok .....	70
7.3	Diskuse odezvy systému podle působících faktorů.....	71
7.3.1	Změna taktu – počtu pracovníků .....	71
7.3.2	Osobní výkonnost pracovníků a pořadí pracovníků .....	72
7.3.3	Přecházení mezi operacemi a vybalancování procesu.....	76
7.3.4	Časová náročnost operace a specifikace produkce.....	80
7.3.5	Opakovatelnost činnosti .....	82
8	Metodika.....	85
8.1	Část A: Topologie linek a vhodnost strategie.....	86
8.1.1	Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi.....	86
8.1.2	Ergonomické aspekty linky a BOZP .....	89





8.1.3	Parametry kvality a odměňování .....	91
8.1.4	Struktura precedenčního grafu.....	94
8.1.5	Paralelizace linky.....	96
8.1.6	Závislost časů úkonů na jejich sekvenci.....	98
8.2	Část B: Charakteristika linek a odezva strategií.....	99
8.3	Souhrn metodiky.....	101
8.3.1	Část A: Charakteristika linek omezující podmínky.....	101
8.3.2	Část B: Charakteristika linek a odezva strategií.....	104
8.3.3	Postup výběru strategií dle metodiky .....	106
9	Ověření metodiky .....	107
9.1	Tetraco – stav při zahájení spolupráce .....	107
9.1.1	Metodika Tetraco 1. krok .....	109
9.1.2	Metodika Tetraco – 2. krok .....	113
9.1.3	Metodika Tetraco – 3. krok .....	113
9.1.4	Metodika Tetraco – 4. krok .....	115
9.1.5	Metodika Tetraco – 5. krok .....	117
9.2	Ověření výsledků metodiky pro Tetraco v praxi .....	117
9.2.1	Strategie Work zones.....	118
9.2.2	Strategie Rabbit chase .....	118
9.2.3	Strategie Bucket brigades .....	118
9.2.4	Hybridní strategie .....	119
9.3	Ověření výsledků metodiky pro Tetraco pomocí simulace .....	119
10	Závěr práce .....	124
10.1	Rekapitulace cílů disertační práce .....	124
10.2	Zhodnocení výsledků pro vědní obor .....	125
10.3	Zhodnocení výsledků pro praxi .....	126
10.4	Doporučení na pokračování práce v daném tématu a oboru .....	126



## SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Cizojazyčný význam	Český význam
ALBP	Assembly Line Balancing Problem	Problém balancování montážní linky
ALBPWMB	The Assembly Line Balancing Problem With Moving Bottle neck	Problém balancování montážní linky s výskytem plovoucích úzkých míst
ALWABP	The Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem	Problém s přiřazováním pracovníků k montážním operacím a jejich vybalancování v lince
APS	Advanced Planning and Scheduling	Systémy pokročilého plánování a rozvrhování
AVG	Average	Průměrná hodnota
BB	Bucket brigades	Strategie hašení požáru (kbeliková brigáda)
CT	Cycle time	Cyklový čas (takt pracoviště/linky)
DSS	Decision Support System	Systém pro podporu rozhodování
ERP	Enterprise Resource Planning	Systémy pro celopodnikové plánování zdrojů
FALBP	Flexible Assembly Line Balancing Problem	Problém balancování flexibilní montážní linky (s různými takty)
FIFO	First In - First Out	První dovnitř – první ven
FIFO	First In, First Out	První vstupující je prvním vystupujícím
GALBP	Global/General Assembly Line Balancing Problem	Globální problém balancování montážní linky (komplexní)
JIS	Just In Sequence	Výroba v požadované sekvenci
JIT	Just In Time	Výroba právě včas
Kanban	Kanban	Dílenské řízení výroby tahem na základě impulsu
Lean	Lean	Štíhlá výroba
Makespan	Makespan	Celková čas dokončení zakázek
MALBP	Multi Assembly Line Balancing Problem	Problém balancování montážní linky (s vící produkty v dávkách)
MALBP	Mixed Assembly Line Balancing Problem	Problém balancování montážní linky (s výrobním mixem)
MAPA	multi-assignment problem-based algorithm	algoritmus pro multi-úkolový problém
MOST	Maynard Operation Sequence Technique	Maynardova metoda předem určených časů
MTM	Methods Time Measurement	Metody předem určených časů



Zkratka	Cizojazyčný význam	Český význam
OOPP		Osobní ochranné pracovní prostředky
OPF	One piece flow	Tok jednoho kusu
OPF-C	One piece flow – Caravans	Strategie tok jednoho kusu – Karavana
PAC	Production Activity Control	Dílenské řízení výroby
RC	Rabbit chase	Strategie pronásledování zajíčků
SALBP	Single (Simple) Assembly Line Balancing Problem	Jednoduchý problém balancování montážní linky (s jedním produktem)
SME	Small and Medium Enterprise	Malé a střední podniky
TA	Times analysis	Časové analýzy
THP		Technicko hospodářský pracovník
TOC	Theory of constraints	Teorie omezení
TPV		Technologická příprava výroby
Triangle	Triangle probability distribution	Trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti
ÚM	Bottleneck	Úzké místo
VR	Virtual reality	Virtuální realita
WarmUp	WarmUp simulation time	Časna zahřátí (zaplnění) simulačního modelu
WIP	Work in Process	Rozpracovanost výroby
WZ	Working Zones	Pracovní zóna



## SEZNAM SYMBOLŮ

Symbol	Výklad symbolu
$\alpha$	stupeň plnění normy práce alfa
$\lambda$	stupeň obsazení linky
$\lambda$	stupeň obsazení linky obsluhou
$\tau$	stupeň časového využití dělníka
BB <sub>LQ</sub>	poslední pracovník při strategii BB
CycleTime	časy cyklů podle PP a Tac
DF	digital factory
Fn	fond spotřeby času týmu
H	časová výrobní norma linky
H	pracnost na produktu
I/L	linka tvaru písmena I nebo L
j	označení aktuálního dílu
j <sub>n</sub>	produkt <b>j</b> v pracovní zóně <b>n</b>
k	aktuální rozpracovanost
L	celkový objem odvedené práce
l	počet využitých zdrojů (pracovníků)
LA	labour attribute, označení pracovníka
LE	linea efficiency
l <sub>max</sub>	maximální obsazení linky obsluhou
LQ	obsazenost linky / aktuální počet pracovníků
m	celkový počet pracovních stanic
M	makespan
Maxx	poměr horní hranice trojúhelníkového rozdělení
ME	nastavení streamu pseudonáhodných čísel
Minn	poměr spodní hranice trojúhelníkového rozdělení
m <sub>j</sub>	úkon <b>m</b> na produktu <b>j</b>
m <sub>n</sub>	stanicím m v rámci pracovní zóny n (WZ)
M <sub>nn</sub>	označení pracovní stanice (M01 – M12)
MO	rozlišení typu opakovatelnosti
MP	časy přecházení mezi stanicemi
MR	označení replikace/počtu replikací
MS	sekvence výrobních požadavků (Singl, Multi, Mix)



Symbol	Výklad symbolu
MT	normy spotřeby času
MX	výkonnostní matice týmu
N	kusová výrobní norma linky
nH	hypotéza číslo n
nH <sub>0</sub>	nulová hypotéza číslo n
nH <sub>1</sub>	opačná hypotéza číslo n
O	uzavřená linka tvaru písmena O
O1	(objective) účelová funkce Makespan
O2	(objective2) účelová funkce Fond spotřeby času
p	produktivita práce linky (pracovníků)
P0n	označení hlavní varianty produktu P01, P02, P03
PP	produktivita pracovníka l na stroji m
Prn	označení člena týmu číslo n
RC <sub>j</sub>	pracovník s produktem j, strategie RC
SI	smoothness index
S <sub>k</sub>	čas cyklu k-té stanice
S <sub>max</sub>	čas cyklu nejpomalejší stanice (ÚM)
SN	serial number, označení dílů
Stra	uplatněná strategie (WZ, RC, BB)
T	vztažný časový úsek
Tac	norma spotřeby času podle TypPart a m
TypPart	označení aktuálního dílu
U	linka tvaru písmena U
ÚM	úzké místo linky
V	výrobní výkon linky
WMT	warmup time, čas zahřátí modelu
WZn	pracovník v zóně n strategie WZ
1	strategie WZ (v grafu)
2	strategie RC (v grafu)
3	strategie BB (v grafu)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Rozvrhová schémata [10].....	19
Obr. 2-1 Rozvrhování pracovníků na pracovní zóny.....	23
Obr. 2-2 Technologický postup – členění [30].....	25
Obr. 2-3 Precedenční graf návaznosti [23].....	25
Obr. 2-4 Ukázka výrobních sekvencí podle typu linky [32].....	27
Obr. 2-5 Uzavřená výrobní linka O [9].....	29
Obr. 2-6 Dvojstranné výrobní linky [24].....	30
Obr. 2-7 Podávací linky, které zásobují hlavní linku montáž podsestavou [20].....	30
Obr. 3-1 Yamazumi board – balanční diagram [39].....	34
Obr. 3-2 Rozvrhové schéma – rozmístění operátorů.....	34
Obr. 3-3 Work zones – pohyb obsluhy.....	36
Obr. 3-4 Work zones – pevné zóny.....	36
Obr. 3-5 Rabbit Chase –celý proces s jedním produktem.....	37
Obr. 3-6 Rabbit Chase – pohyb obsluhy.....	37
Obr. 3-7 Chacku Chacku – pohyb obsluhy.....	38
Obr. 3-8 Chacku Chacku – Celý proces s přesunem mezi díly.....	38
Obr. 3-9 Hašení požáru pomocí věder.....	39
Obr. 3-10 Bucket Brigades – dynamické zóny.....	39
Obr. 3-11 Bucket brigades – obsluhované stanice po ustálení.....	40
Obr. 3-12 Hybridní strategie – předávací území.....	41
Obr. 3-13 Hybridní strategie – Pravidelná rotace práce, pohyb obsluhy.....	41
Obr. 3-14 Hybridní strategie – Pravidelná rotace práce.....	41
Obr. 5-1 Přehled optimalizačních metod [30].....	50
Obr. 5-2 Princip počítačové simulace [59].....	52
Obr. 5-3 Schéma simulačních experimentů [57].....	53
Obr. 5-4 Witness: Simulační modely linky v 3D modu.....	55
Obr. 6-1 Witness: Simulační modely – BB, RC, WZ.....	56
Obr. 6-2 Work zones – schématický diagram.....	57
Obr. 6-3 Rabbit Chase – schématický diagram.....	57
Obr. 6-4 Chacku Chacku – schématický diagram.....	58
Obr. 6-5 Bucket Brigades – schématický diagram.....	59
Obr. 6-6 Witness - Simulační model pro řízené experimentování.....	60
Obr. 6-7 Witness - Simulační model, pracovní stanice.....	61
Obr. 6-8 Witness - Simulační model, zpracovávané produkty.....	61
Obr. 6-9 Witness - Simulační model, obsluha stanic.....	61
Obr. 6-10 Witness - Simulační model, virtuální síť cest.....	61
Obr. 6-11 Witness - Simulační model, matice časů přecházení.....	61
Obr. 6-12 Witness - Simulační model, parametry experimentů.....	62
Obr. 6-13 Witness - Simulační model, grafy využití času stanic a pracovníků.....	62
Obr. 6-14 Witness - Simulační model, využití času stanic [%].....	62
Obr. 6-15 Witness - Simulační model, využití času pracovníka [%].....	62
Obr. 6-16 Witness - Simulační model, transformace datové základny.....	63
Obr. 8-1 Acyklické zpracování červené a zelené varianty produktu.....	95

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Rozvrhové schéma – přiřazení k operacím (stanicím) .....	35
Tab. 7-1 Simulační parametry – 1. Simulační blok .....	66
Tab. 7-2 Nerovnoměrné přiřazení pracovníků do pracovních zón .....	67
Tab. 7-3 Rovnoměrné přiřazení pracovníků do pracovních zón .....	69
Tab. 7-4 Simulační parametry – 1. Simulační blok .....	70
Tab. 7-5 Matice zapracovanosti $MX=1$ , $LQ=7$ .....	73
Tab. 7-6 Matice zapracovanosti $MX=1$ , $LQ=1..12$ .....	73
Tab. 7-7 Matice zapracovanosti $MX=2$ , $LQ=7$ .....	73
Tab. 7-8 Matice zapracovanosti $MX=2$ , $LQ=1..12$ .....	74
Tab. 7-9 Matice zapracovanosti $MX=3$ , $LQ=1..12$ .....	74
Tab. 7-10 Matice zapracovanosti $MX=4$ , $LQ=7$ .....	74
Tab. 7-11 Přejíhová matice $MP=2$ .....	78
Tab. 7-12 Přejíhová matice $MP=3$ .....	78
Tab. 7-13 Přejíhová matice $MP=4$ .....	78
Tab. 7-14 Matice norem spotřeby času $MT = 1$ .....	80
Tab. 7-15 Matice norem spotřeby času $MT = 2$ .....	80
Tab. 7-16 Matice norem spotřeby času $MT = 3$ .....	80
Tab. 7-17 Matice norem spotřeby času $MT = 4$ .....	81
Tab. 8-1 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, incompatible .....	87
Tab. 8-2 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, fixed.....	87
Tab. 8-3 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, min.....	88
Tab. 8-4 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, max .....	88
Tab. 8-5 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, solo .....	88
Tab. 8-6 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, cumulated vale.....	89
Tab. 8-7 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, unlimited.....	89
Tab. 8-8 Metodika - Ergonomie a BOZP, pracovní polohy .....	90
Tab. 8-9 Metodika - Ergonomie a BOZP, sensorika a motorika.....	90
Tab. 8-10 Metodika - Ergonomie a BOZP, konfigurace pracoviště.....	91
Tab. 8-11 Metodika - Ergonomie a BOZP, OOPP .....	91
Tab. 8-12 Metodika - Ergonomie a BOZP, monótonní práce .....	91
Tab. 8-13 Metodika - Parametry kvality a odměňování, jeden pracovník .....	92
Tab. 8-14 Metodika - Parametry kvality a odměňování, ID pracovníka .....	92
Tab. 8-15 Metodika - Parametry kvality a odměňování, výstup podle pracovníka.....	93
Tab. 8-16 Metodika - Parametry kvality a odměňování, vyřazení nekvality .....	93
Tab. 8-17 Metodika - Parametry kvality a odměňování, monitorování celku.....	93
Tab. 8-18 Metodika - Parametry kvality a odměňování, monit. jednotek .....	94
Tab. 8-19 Metodika - Struktura precedenčních grafů, cyklický .....	94
Tab. 8-20 Metodika - Struktura precedenčních grafů, acyklický .....	96
Tab. 8-21 Metodika - Paralelizace linky, paralelní linky .....	96
Tab. 8-22 Metodika - Paralelizace linky, podavače.....	97
Tab. 8-23 Metodika - Paralelizace linky, paralelní stanice.....	97
Tab. 8-24 Metodika - Paralelizace linky, paralelní úkony.....	97
Tab. 8-25 Metodika - Paralelizace linky, bez paralelní struktury.....	98
Tab. 8-26 Metodika - Závislost časů úkonů, přímé přírůstky.....	98
Tab. 8-27 Metodika - Závislost časů úkonů, nepřímé přírůstky .....	99
Tab. 8-28 Metodika - Závislost časů úkonů, bez navýšení časů.....	99
Tab. 8-29 Metodika – Specifikace produkce .....	99
Tab. 8-30 Metodika – Flexibilita linky a obsluha.....	100
Tab. 8-31 Metodika - Procesní časy .....	100
Tab. 8-32 Metodika – Délka taktu a vybalancování.....	101



Tab. 8-33 Metodika – Layout linky .....	101
Tab. 8-34 Metodika - Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi.....	102
Tab. 8-35 Metodika - Ergonomické aspekty linky a BOZP .....	102
Tab. 8-36 Metodika – Parametry kvality a odměňování .....	103
Tab. 8-37 Metodika – Struktura precedenčního grafu.....	103
Tab. 8-38 Metodika – Paralelizace linky .....	103
Tab. 8-39 Metodika – Závislost časů úkonů na jejich sekvenci .....	103
Tab. 8-40 Metodika – Specifikace produkce .....	104
Tab. 8-41 Metodika – Flexibilita linky a obsluha.....	104
Tab. 8-42 Metodika – Procení časy .....	104
Tab. 8-43 Metodika – Délka taktu a vybalancování.....	105
Tab. 8-44 Metodika – Layout linky .....	105
Tab. 8-45 Metodika souhrnné hodnocení strategií .....	105
Tab. 9-1 Ukázka posunutí pracovních zón pro obsazení linky 4 operátory .....	108
Tab. 9-2 Metodika Tetraco – 1. krok .....	109
Tab. 9-3 Metodika Tetraco – 2. krok .....	113
Tab. 9-4 Metodika Tetraco – 3. krok .....	113
Tab. 9-5 Simulační parametry – 3. blok exp.....	120
Tab. 9-6 Matice norem spotřeby času $MT=5$ .....	120
Tab. 9-7 Matice zapracovanosti $MX=5, LQ=1..12$ .....	121





## SEZNAM GRAFŮ

Graf 3-1 Pracovní zóna – časové normy.....	35
Graf 7-1 Produktivita podle LQ - 1. blok exp.....	67
Graf 7-2 Makespan podle LQ – 1. blok exp. ....	68
Graf 7-3 Fond spotřeby podle LQ – 1. Blok exp. ....	68
Graf 7-4 Spotřeba času podle LQ – 2. blok exp. ....	71
Graf 7-5 Makespan podle LQ – 2. blok exp. ....	72
Graf 7-6 Fond spotřeby podle matice zapracovanosti – 2. blok exp. ....	75
Graf 7-7 Fond spotřeby času podle přechodové matice – 2. blok exp.....	77
Graf 7-8 Fond spotřeby podle přechodové matice/panely podle LQ – 2. blok exp.....	77
Graf 7-9 Fond spotřeby podle matice norem spotřeby času MT – 2. blok exp. ....	81
Graf 7-10 Histogram spotřeby času pracovníka .....	83
Graf 7-11 Fond spotřeby podle opakovatelnosti ruční práce MO – 2. blok exp. ....	83
Graf 9-1 Normy spotřeby času podle matice MT=5 – 3. blok exp.....	120
Graf 9-2 Tetraco Závislost Fondu spotřeby času na LQ.....	122
Graf 9-3 Tetraco Stupeň plnění norem $\alpha$ podle LQ .....	122
Graf 9-4 Tetraco závislost produktivita podle LQ.....	123

## 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

Tvrdá konkurence a dynamické tržní prostředí nutí firmy k neustálému zlepšování zaváděním moderních technologií i organizací výroby. Řada firem usiluje o automatizaci svých procesů a o zavádění IT technologií. V dnešní době je však třeba kombinovat prvky automatizace s prvky štihlé výroby a hledat rezervy i v dalších oblastech podniku. Pozornost se tak obrací i na plánování a rozvrhování výroby a intenzivně se diskutují možnosti využívání heuristických optimalizačních algoritmů – viz např. Koblasa [1].

Podpora rozvrhování pracovníků a následná optimalizace využití jejich kapacity se však stále podceňuje. Právě zde je další potenciál pro zlepšování [2].

Problematika plánování a rozvrhování pracovníků však vůbec není triviální. Tzv. superkonkurence nutí firmy produkovat široký sortiment produktů, u kterých dochází k častým výkyvům ve spotřebě. Dílenský management je tak nucen neustále realizovat operativní rozhodnutí s ohledem na změny ve výrobním systému. Na rozhodování managementu má však vliv i dynamičnost a stochastika dílenských procesů [3].

Významným faktorem ovlivňujícím veškeré činnosti v podniku, a výrobu obzvlášť, je variabilita – produkce, a to i jednotlivých činností [4]. Je třeba zajistit nezávislost na jednom zákazníkovi (cílové skupině) a rychle reagovat na změny v odbytí. O to náročnější je rozvrhování výroby i pracovníků.

Rozvrhování výroby i pracovníků, a tedy volba vhodné strategie řízení výroby, patří k základním úkolům dílenského řízení výroby s podporou ze strany promyslových inženýrů.

Supervisor, teamleader nebo klasický výrobní mistr musí zkoordinovat termíny zakázek a dalších výrobních úkolů s dostupnými, tedy omezenými kapacitami. Při této činnosti je nutné zpracovat, ověřit a doplnit velké množství dat, přičemž jednotlivé parametry se neustále mění. V malých a středních podnicích, ale i ve velkých firmách přitom často nemá řídicí pracovník k dispozici jiný nástroj než Excel a data exportovaná z informačního systému ERP. Tím se práce stává časově velice náročnou. Obtížně se provádějí optimalizace. Tak dochází k tomu, že potenciál výrobních kapacit zůstává nevyužitý. Jsou často ohrožovány teoretické termíny generované pomocí plánovacích modulů systémů ERP. Termín je přitom základním kritériem hodnocení dodavatelů, a tak klesá konkurenceschopnost firmy.

Trendem se stává snaha snižovat počet prvků, které je nutné samostatně plánovat, řídit a vzájemně koordinovat. Eliminace počtu prvků je prováděna například:

1. nasazování více profesních obráběcích CNC center,
2. přechodem k procesnímu uspořádání výroby se změnou layoutu,
3. rostoucím podílem autonomních výrobních týmů.

Zároveň se v rostoucí míře uplatňují nástroje podporující rozhodování operačního managementu např. APS, PAC a PC simulace. Roste uplatnění strategií podporujících autonomnost pracovišť, např. Kanban, Hejunka, Jidoka, Pokayoke [5].

Nevhodný layout, lidský faktor a termínové tlaky, vyžadují při nevhodné strategii časté operativní zásahy. Vhodná strategie tak hraje významnou roli. Většina řídicích pracovníků ale strnule užívá strategie vhodné v podmínkách před 30 lety. Často lze slyšet: „Jde o léty ověřenou strategii, proč něco měnit, když to funguje.“

Nárůst variant výrobků, a tím zmenšující se výrobní dávky, vyzdvihují problém neefektivního řízení výroby. Nevhodná strategie řízení výroby nejenže zhoršuje vztahy v pracovním týmu, ale zvýšenými náklady a delší průběžnou dobou výroby, ještě více ohrožuje konkurenceschopnost firmy.

Vhodná strategie musí podporovat rychlá rozhodnutí a respektovat požadavek na efektivní využití dostupných kapacit. O vhodnosti strategie, tak často rozhoduje i schopnost vyrovnat se s vepodlejšími vlivy. Mezi nejnáročnější patří fluktuace a osobní dovednosti pracovníků. Nutností je tedy týmová i individuální motivace pracovníků. V procesech, kde je jen částečná automatizace nebo kde není žádná, rozhoduje o výkonnosti především lidský faktor (operátoři a řídicí pracovníci).

Dnes se nacházíme v situaci, kdy se produkty „kopírují“, technologie volně prodávají a rozhoduje umění tyto zdroje efektivně využít. Organizační strategie je velice důležitým nástrojem pro udržení konkurenceschopnosti.

Význam logistického operačního řízení spočívá především v systémovém přístupu, tzn. že při analýze, formování strategie a taktiky v rámci operativního řízení logistických procesů vždy respektujeme vazby mezi jednotlivými prvky logistického systému jako celku [6].

Přístup k řešení této problematiky se pohybuje v několika směrech. Jedním ze směrů výzkumu je Line balancing – vyvažování výrobních operací. Balancování procesů je založeno na statistice a metodách zjišťování výrobních časů operací. Využívají se techniky pozorování, nebo metody předem určených času TA/SPT (např. MTM, Basic MOST...), ale vycházejí z předpokladu stabilního procesu. Toto zjednodušení stochastického chování reálného systému je pak nutné kompenzovat bezpečnostním koeficientem. Riziko propodlení termínu dodání a úroveň nevyužití dostupných kapacit tak závisí na aktuální situaci ve výrobě a na způsobu určení bezpečnostní časové bariéry [7].

Rozvrhování a balancování pracovníků na lince je závislé nejen na schopnostech a dovednostech mistra, důležitá je připravenost procesů TPV (příprava ze strany technologie a průmyslového inženýrství i podpora ze strany manažerů projektů), zvolená strategie obsluhy, vybalancování pracovišť, složení pracovního týmu i jeho motivace k výkonům [8].

## 1.1 Direktivní řízení

Na balancování linek je postavena nejčastěji používaná strategie rozvrhování práce, a to strategie Work zones (strategie pracovních zón), v jejím rámci je určitému zákaznickému taktu výroby přiřazen konkrétní počet pracovníků. Ti jsou na základě rozvrhových diagramů rozmístěni na určité výrobní operace [9]. V této oblasti není pro tento systém rozvrhování práce pevně ustálený pojem, v literatuře se setkáváme s označením: schéma pracovních zón, rozvrhová schémata, kapacitní diagramy, taktovací tabulky, štafety [10]

Technicko-organizační omezení často znemožňují přesné vybalancování. Tento limit s sebou přináší rozpracovanou výrobu za produktivnějším pracovištěm nebo čekání operací za úzkým místem.

V případech větší nevyváženosti kapacit bývá využíváno předvýroby na slabších člancích výrobního řetězce. Využívá se mezioperačních zásobníků.

Při optimalizaci rozpracovanosti nezbytně nutné k plynulému chodu kapacitně silnějších pracovišť, se ve velkých a středních podnicích využívají nástroje pokročilého plánování. Aplikace Advance planning and scheduling (systémy APS) a počítačová

simulace, jsou nadstavby klasických ERP systémů. Tyto systémy dokáží pracovat s jednotlivými omezeními (např. kapacitami) a určují časy předstihu v započetí práce na jednotlivých operacích podle výrobních zakázek a podle zatížení výroby [11].

Velký vliv stochastických jevů společně s nastavením bezpečnostních bariér a s velkým tlakem na vytížení kapacit zapříčiňuje selhání takového plánu a vyvolává velké nároky na kapacity operativního řízení. Množství a časová náročnost na řešení operativních zásahů ve většině malých a středních podniků si vynucují přechod k intuitivnímu řízení na úrovni „řízeného chaosu“. Jak lze předpokládat, intuitivní řízení výroby není optimální ani z hlediska produktivity, ani z hlediska nákladů, a tedy ani z hlediska zmiňované konkurenceschopnosti firmy.

Snahou je proto modifikovat a rozvíjet nové strategie a implementovat myšlenky a poznatky z jiných odvětví a oborů. Některé mezinárodní firmy testují alternativní strategie One piece flow. Jedná se např. o strategii Rabbit chase (označovanou i jako One piece flow – caravans) [12]. V zahraniční literatuře je diskutována strategie Bucket brigades, někdy také označovaná jako strategie Forage retrieval in ants (zajišťování potravy u mravenců), strategi Ants warren (mravenčí kolonie) a strategie Bees swarm (včelí roj) [13] [14].

## 1.2 Autonomní řízení

Tyto strategie jsou podstatou LEAN a optimalizace řízení výroby a jsou uplatňovány v rámci tzv. filozofie just in time (JIT) [15].

Tato filozofie se zabývá hlavní konkurenční taktikou, zkracováním výrobních cyklů, zvyšováním flexibility a kvality a snižováním nákladů. Základním principem je dostat vše potřebné na správné místo ve správný čas a v požadované kvalitě s minimální možnou zásobou. Strategie založené na této filozofii, vytvářejí autonomní subsystémy reagující na výzvu [15].

Typickým představitelem JIT je systém KANBAN, kterým jsou řízeny materiálové toky, ale i samí operátoři. V případech, kdy jsou řízeny dlouhé procesy, nebo proces s technologicky nevybalancovanými úseky, se využívá segmentování procesů do více samořídících okruhů. Určení pracovníci pak přecházejí podle hladiny karet na kanbanové tabuli a dočasně posilují týmy zatížených pracovišť.

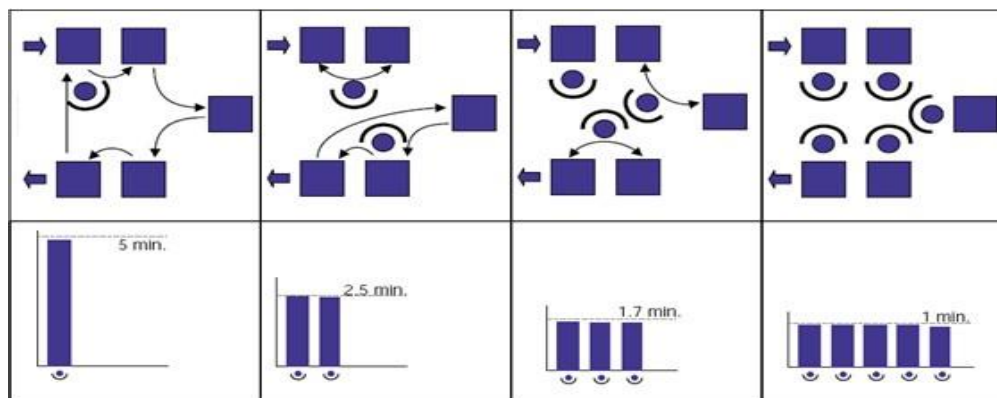
V této souvislosti je právě snahou flexibilně přizpůsobovat kapacitu (výkon) pracovního týmu jeho posílením o dalšího pracovníka, nebo naopak uvolnit pracovníka pro jiný Kanban okruh, a to díky strategiím obsluhy jako **Rabbit chase** či **Bucket Brigades**, případně zvláště připravené **Work zones**.

První zkoušenou strategií řízení pracovníků je varianta **Rabbit chase** – (pronásledování zajíců). Výrobní výkon se odvíjí od počtu pracovníků zapojených do daného procesu. Počet pracovníků může být určen analytickou metodou nebo již výše zmíněným Kanbanem. Tato strategie je velice náročná na znalosti pracovníků, kteří musejí zvládnout celý proces – celá karavana pracovníků postupně projde celým procesem přes všechna pracoviště.

Dalším velice zajímavým nástrojem řízení je strategie rozvrhování pracovníků, nazývaná **Bucket Brigades** – strategie hašení požáru alias kbelíková brigáda. Tato strategie je, podobně jako kanban systém, dynamickým nástrojem balancingu. Projektů zabývajících se realizací této strategie přibývá [16]. Zde je však poměrně náročné monitorovat výkon jednotlivých pracovníků, proto se této strategii více využívá v oblastech nasazení „režijních“ pracovníků s časovou mzdou. Těmito oblastmi jsou

především servisní činnosti a služby (logistika, pohostinství, ve výrobě jde o seřizování a údržbu) [14].

V rámci strategie **Work zone** se pod vedením řídicího pracovníka změní počet pracovníků a výroba se podle rozvrhových schémat operativně reorganizuje (Obr. 1-1). Následně se průběžně koriguje podle pokynů teamleadera nebo supervizora. Díky potřebě operativních zásahů řídicího pracovníka výkonnost týmu do jisté míry závisí na schopnostech řídicího pracovníka. Vinou často rozporuplných operativních zásahů dochází ke zhoršení pracovní atmosféry a někdy přímo ke konfliktům mezi pracovníky.



Obr. 1-1 Rozvrhová schémata [10]

### 1.3 Motivace a řešená problematika

Tato disertační práce je inspirována případovou studií realizovanou autorem v rámci spolupráce společnosti Tetraco International, s. r. o., a Technické univerzity v Liberci. Cílem případové studie bylo zvýšit a stabilizovat produktivitu pracovníků při akceptaci specifických omezení výrobního programu.

Tato případová studie vyústila od problematiky analýzy a normování práce, přes balancování pracovišť, právě do oblasti rozvrhování pracovníků, která se ukázala být klíčovou, přičemž rozvrhování pracovníků rozumíme vzájemné přiřazování pracovníků a pracovních úkolů.

Toto téma spadá do širší oblasti technicko-organizačních opatření tzv. dílenského řízení. Technická a organizační omezení v dílenském řízení jsou často diskutována v odborných příspěvcích na konferencích či v odborných časopisech. Oblast rozvrhování pracovníků je bohužel obvykle opomenuta. Získané zkušenosti z případové studie (např. zajištění maximální produktivity s využitím právě dostupných zdrojů – pracovníků, výroba v měnícím se mixu produktů apod.) poukázaly na velký potenciál, směřující ke zlepšování.

Supervizor – výrobní mistr – měl k dispozici jen minimum nástrojů, i zde disponoval pouze několika daty v Excelu. Rozvrhnout efektivně např. 9 pracovníků na montážní linku s 13 operacemi při výrobě několika produktů ve výrobním mixu se tak ukázalo jako nadlidský úkol.

Skutečný výkon výrobního systému je navíc významně ovlivňován stochastickými vlivy jednotlivých pracovníků.

Disertační práce se proto věnuje problematice rozvrhování pracovníků na montážních linkách, přesněji snaží se najít alternativní strategie tradičního rozvrhování pracovníků do pracovních zón a strategie porovnat.



## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY LINEK

Montážní linky byly původně vyvinuty pro nákladově orientovanou hromadnou výrobu standardizovaných produktů ve snaze využít efektu zapracovanosti při vysoké specializaci práce. Požadavky na výrobky – a tím i na výrobní systém – se ale od dob Fordova modelu T výrazně změnily. Nyní je k uspokojení potřeb a požadavků zákazníků nutné produkty značně individualizovat. Například společnost BMW nabízí katalog volitelných funkcí a u jednoho z modelů je teoreticky  $10^{32}$  různých volitelných parametrů [17]. Aby bylo možné takové množství modifikací vyráběných modelů produkovat, bylo nutné změnit i pohled na výrobní linky [18] [19]. Ve své základní formě se montážní linka stále skládá z řady pracovních stanic, u těžkých nebo objemných produktů, obvykle spojených dopravními mechanismy, např. dopravním pásem, kdy přes stanice proudí jednotky produktu. Každá pracovní stanice opakovaně provádí řadu úkolů za účelem produkce určitého výrobku. Úkoly vyžadují určitý čas na zpracování a mezi sebou mají vztah v souladu se stávajícími technologickými omezeními [20].

Účelem linky je zajistit plynulý materiálový tok produkce přes jednotlivá výrobní zařízení. Produktově orientované procesy, typicky montážní linky nebo U-buňky, se snaží o tzv. výrobu One piece flow (výroba s tokem jednoho kusu). Cílem je efektivní produkce bez zásob a nutnosti plánovat a řídit jednotlivé výrobní zdroje. Těmito zařízeními jsou jednotlivé stanice vybaveny, přičemž obvykle plánujeme pouze sekvenci pro první pracovní stanici na hlavní lince – na ostatních je uplatněno pravidlo FIFO (první dovnitř – první ven).

V dnešní době jsou montážní linky a výrobní linky základním stavebním kamenem v automobilovém, leteckém, elektrotechnickém a potravinářském průmyslu.

Rostoucí podíl vysoké úrovně automatizace montážních systémů je spojen se značnými investičními náklady. Ve snaze tyto investice efektivně využít rostou požadavky na rekonfiguraci linky a zároveň je zde snaha minimalizovat nutnost tyto (re)konfigurace provádět při změně modelu. Jdou tak proti sobě snahy o standardizaci a automatizaci a snahy o univerzálnost a flexibilitu. Přitom nejflexibilnějším výrobním zdrojem je stále člověk.

Moderní výrobní linky musejí být schopny reagovat na trh, umožnit efektivní produkci řady modelů a flexibilně reagovat na změny objemu požadavků v jednotlivých obdobích. Díky těmto trendům významně roste možnost uplatnění průtokových linek (flow-line) a U-buněk (U-cell) i v malosériové výrobě. Nejen to, produktově orientované výrobní systémy získávají převahu také ve výrobě zakázkové [21],[22].

Adaptabilita linky má zásadní význam pro realizaci nákladově efektivní výroby. Proto je často stále nutné využívat flexibility člověka. Rostoucí úroveň produktů a požadavky na nové technologie a kvalitu přináší do výroby také řadu komplikací a omezení. Mnohem méně se zapomíná na lidský přístup, tedy na ergonomii výrobních procesů. Proto je snahou lépe poznat charakteristiky chování montážních linek při uplatnění několika základních strategií obsluhy.

Strategie obsluhy linek definuje proces přiřazování pracovníků na pracovní úkony ve fázi řízení výroby.



Pro volbu vhodné strategie obsluhy linky jsou důležité především tyto faktory:

- charakter linky – především její vybavení a vybalancování,
- charakter produkce – hlavně objem, složení a sekvence produkce,
- charakter týmu obsluhy – důležitá je např. velikost týmu, zapracovanost.

Tyto charakteristiky souvisejí s aktivitami, které musíme rozlišovat, abychom problematice dostatečně porozuměli.

- plánování výroby,
- rozvrhování úkonů na stanice,
- rozvrhování produkce,
- rozvrhování pracovníků.

**Plánování výroby** patří do oblasti strategického řízení, kdy rozhodujeme:

- jaké produkty chceme vyrábět,
- jaké výrobní procesy využijeme,
- jaký objem výroby očekáváme,
- ...

**Rozvrhování úkonů (ALBP)** patří do oblasti návrhu linek a jedná se o přiřazování jednotlivých výrobních činností na výrobní zařízení. V případě linek rozhodujeme:

- kolik bude třeba pracovních stanic,
- o sekvenci provádění jednotlivých úkonů,
- které úkony budeme provádět na které stanici,
- ...

**Rozvrhování produkce** patří do oblasti řízení zakázek a znamená přiřazování výrobních požadavků na výrobní zařízení.

- přiřazujeme zakázky na jednotlivé zdroje (stroje, linky, zařízení),
- definujeme sekvenci,
- určujeme termíny a časy zpracování,
- ...

**Přiřazování pracovníků** patří do oblasti řízení výroby, jednotlivé pracovníky alokujeme k jednotlivým úkolům a činnostem:

- přiřazujeme pracovníky k výrobním zařízením,
- definujeme prováděné úkoly v prostoru a v čase,
- systém předávání práce,
- ...

Právě to, jak bude probíhat poslední zmíněná aktivita, je ovlivněno zvolenou strategií obsluhy linky.

Jelikož složení a objem produkce jsou dány strategickým rozhodnutím managementu a následně rozvrhem produkce, zaměříme se nyní na přiřazování úkonu na pracovní stanice

## 2.1 Úvod do problematiky rozvrhování

V této kapitole nejprve upozorníme na rozdíl mezi rozvrháváním úkolů na pracovní stanice, tedy balancováním montážních linek, a přiřazováním úkolů jednotlivým pracovníkům. Díky historickému kontextu ozřejmíme, proč se tyto činnosti v praxi zaměňují.

Snaha docílit vyšší aplikovatelnosti modelování v praxi vede ke snaze popsat řešený problém komplexněji. Jednotlivé případové studie pak obsahují své specifické prvky a vyvstává tak problém s kategorizací studií. Při kategorizaci vycházíme z kategorizace, kterou se snaží přispět k lepší orientaci Becker–Scholl [23]. Toto členění montážních linek, užívané při jejich balancování, dále rozšíříme a využijeme k rozlišení jednotlivých případů pro volbu vhodné strategie – viz Příloha A.

Samostatným tématem je současný pohled na přiřazování pracovníků. V rámci krátké rešerše poukážeme na to, které oblasti řeší vědecká obec, a zároveň připomeneme, jak situaci řeší výrobní praxe.

Dále diskutujeme problematiku balancování, to, co již lze zvládnout a řešit pomocí matematického modelování a optimalizačních algoritmů

### 2.1.1 Dělbá práce a potřeba rozvrhovat

Problém rozvrhování pracovníků vyvstal již s první dělbou práce, např. při spolupráci skupiny lovců nebo mezi sběrači. Problematika dělby práce, a tedy i rozvrhování, má za sebou již značnou historii, ale střetává se s novými a novými aspekty.

Pohled na rozvrhování výrobních úkolů výrazně ovlivnila pásová výroba, při níž byly úkoly přiřazeny na tzv. pracovní stanice (konkrétní místo podél výrobního pásu).

Pásová výroba zde cíleně zavádí tok jednoho kusu, vynucené pracovní tempo dané rychlostí dopravníku, a potlačuje tak stochastické vlivy pracovníků.

Henry Martin Ford řekl: „*Nic na světě není tak těžké, rozdělíte-li si to na malé úseky práce.*“ [24]. Ford tedy mohl vzít „kohokoliv z ulice“ a ten se dostatečně zapracoval na úroveň produkce, která stále dostatečně korespondovala s přiřazenou rychlostí dopravníku.

V oblasti řízení výrobních zdrojů tedy došlo k zásadnímu obratu. Lidé se jako výrobní zdroje stávají až sekundárním prvkem. Pozornost se v období zavádění pásové výroby soustřeďuje na vyráběný produkt a na výrobní prostředek, který se stává primárně sledovaným zdrojem. Systémový pohled zaměřený pouze na produkt a na pracovní stanice setrvává v oblasti výrobních linek dodnes.

Toto přiřazování pracovních úkonů k pracovní zóně se dnes označuje jako balancování linek, tedy Line balancing. Přiřazování úkolů na pracovní stanice je záležitostí přípravy výroby již v rámci designu linky.



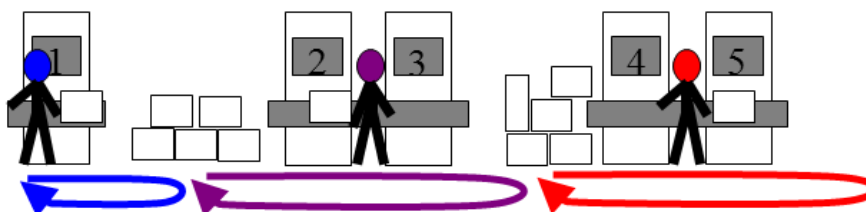
Na výrobní prostředky je soustředěna též hlavní pozornost vědecké společnosti. Také proto se tato práce opírá o problematiku balancování stanic montážních linek, které se věnuje kapitola (Kap. 2.2).

### 2.1.2 Rozvrhování pracovníků (Worker assignment)

Rozvrhování pracovníků při provozování linky je záležitostí až operativy, tj. nejčastěji teamleadera a mistra. Je řešeno na denní bázi v samostatné fázi po vybalancování linky. Jde tedy o následující etapu v rámci životního cyklu projektu.

Budoucím trendem by však mělo být to, aby se analýza obsluhy pracovních stanic zařadila již do přípravné fáze, tedy do fáze projektování linek.

Na (Obr. 2-1) je znázorněn tradiční způsob rozvrhování pracovníků, tj. přiřazení konkrétního pracovníka ke konkrétní pracovní zóně. Jedná se o strategii Work zone.



Obr. 2-1 Rozvrhování pracovníků na pracovní zóny

Budoucností je však delegování pravomocí na samotný tým, který se podle motivačního systému firmy intuitivně organizuje sám.

Problematiku rozvrhování pracovníků ztěžuje i to, že většina zaměstnanců nerozlišuje mezi rozvrhováním pracovních úkolů na pracovní stanice a rozvrhováním úkolů mezi pracovníky. Přitom alternativní strategie rozvrhování pracovníků zásadně ovlivňují způsob obsluhy pracovních stanic a systematicky tak podporují autonomnost montážních týmů.

Na základě dotazování pracovníků praxe lze konstatovat, že mezi řídicími pracovníky je malé povědomí o odlišnosti problematiky rozvrhování montážních pracovníků. **Chybí povědomí o existenci alternativních strategií rozvrhování pracovníků ke strategii Work zones.**

Zvýšit povědomí o této řídicí činnosti managementu první linie, kam patří např. výrobní mistr, dílenský plánovač, supervizor, teamleader aj., je však obtížné, neboť kvalitní literatura věnovaná rozvrhování pracovníků na montážní linky není takřka dostupná. Publikovány jsou především teoretické články, které jsou pro praktickou veřejnost špatně srozumitelné a orientují se obvykle jen na strategii Pracovních zón Work zones [25].

Dostupné publikace jsou navíc zejména staršího data, a tudíž neodrážejí moderní trendy řízení.

### 2.1.3 Matematické modelování pro rozvrhování pracovníků

Plánování konfigurace linky obecně zahrnuje všechny úkoly a rozhodnutí, které se vztahují k vybavení a vybalancování produktivní jednotky pro daný výrobní proces. To zahrnuje nastavení kapacity systému (čas cyklu, počet stanic), stejně jako přiřazení pracovního obsahu k výrobním jednotkám (přiřazení úkolů, pořadí operací) a definice a přiřazení výrobních zdrojů (strojního vybavení a výrobních operátorů).

Tyto úkony nesouvisejí pouze s projektováním výrobních průtokových linek, ale také s jejich plánováním a především s řízením na úrovni dílny. S ohledem na velký

praktický význam není ohromující, že se projektováním a konfigurací montážních systémů zabývá i řada výzkumníků.

Ve vědecké diskusi se k označení především matematického modelování, které se snaží rozhodovací procesy v této oblasti podpořit, používá termín Assembly line balancing problem (ALBP) – problém vyvažování montážních linek.

Od první matematické formalizace ALBP podle Salvesen [26], byla akademická práce zaměřena především na základní problém konfigurace pro „Fordovu“ jednoduktovou linku. Vzhledem k mnoha zjednodušujícím předpokladům označil Baybars [27] tento základní problém jako Simple assembly line balancing problem (SALBP), jednoduchý problém vyvažovací montážní linky.

Následné práce se však stále více pokouší tento problém rozšířit tím, že integrují relevantní aspekty praxe, např. paralelní stanice, alternativy zpracování nebo U-tvar linky, jak uvádí Becker–Scholl [23].

V roce 2007 poprvé zmiňuje Miralles a kol. [28] nový problém rozvrhování a balancování pracovníků v chráněných dílnách - Problém přiřazení a vybalancování pracovníků - The Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem - ALWABP.

S ohledem na komplexnost, náročnost a potřebu řešit větší a složitější problémy praxe se Garcia-Sabater a kolektiv [29] v roce 2008 rozhodli pro uplatnění heuristických metod.

I přes tyto snahy, které už jsou označovány jako Global/General Assembly Line Balancing Problem (GALBP), tedy globální vyvažovací problém montážních linek, je mezi vědeckým výzkumem a praktickou aplikací stále velký rozdíl.

## 2.2 Rozvrhování úkonu na stanice

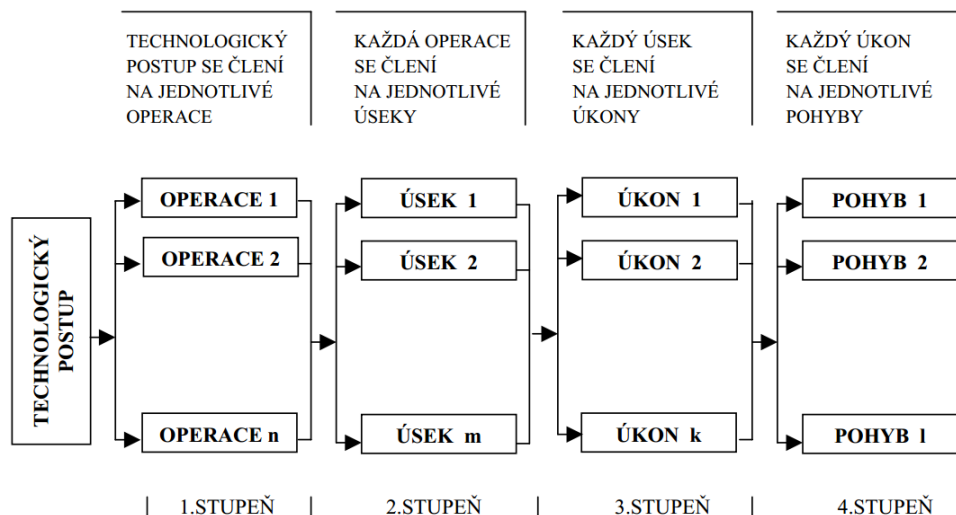
Rozvrhování úkonů na pracovní stanice předchází problematice rozvrhování na pozici mistra a mělo by být řešeno týmem navrhujícím montážní linku v době jejího projektování. Cílem je dosáhnout plynulého a efektivního výrobního toku.

Základní úlohou rozvrhování úkonů na výrobních linkách je přiřazení souboru elementárních činností k operacím (montážním stanovištím), případně sdružování úkonu prováděných na více zařízeních (montážních stanovištích) do pracovních zón obsluhy. Cílem je rovnoměrné (vybalancované) rozdělení práce na produktu tak, aby bylo možné uspokojit požadavek zákazníka v požadovaném množství, čase i kvalitě, při minimálních nákladech na strojní vybavení i jeho obsluhu.

### 2.2.1 Členění činností

Činnosti prováděné při zpracování produktu je možné rozdělit na dílčí části. V rámci technologického postupu z hlediska detailu popisu rozlišujeme (Obr. 2-2):

- výrobní operace,
- pracovní úseky,
- úkony,
- pohyby.



Obr. 2-2 Technologický postup – členění [30]

V rámci montážní linky je obvykle na jedné pracovní stanici prováděna jedna nebo více operací. Ty se dále člení na výrobní úseky, které jsou složeny právě z přiřazených úkonů.

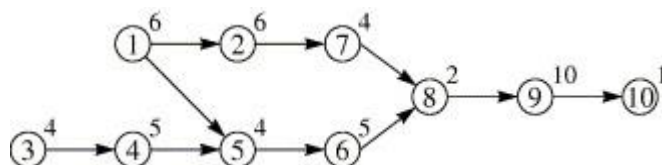
Právě úkon je nejmenším uskupením činností, které může být přiřazeno na jednu pracovní stanici nebo jednomu pracovníkovi. Pracovní operace je pak dána jedním úsekem a úsek je definován jedním úkonem. Pro vykonání úkonu je pak zapotřebí několika pohybů.

V rámci technologických postupů a časových analýz při normování a zlepšování pracovních metod je vhodné jednotlivé prvky jednoznačně identifikovat a označit [31].

Sekvence činností je omezena technologickými vazbami, které se zaznamenávají do **precedenčních grafů** návazností.

### 2.2.2 Precedenční (Prioritní) graf návazností

Precedenční graf tvoří jednotlivé uzly pro každý úkol. Uzel má váhu charakterizující dobu pro zpracování úkolů a spojnice popisují priority/omezení při zpracovávání produktu.



Obr. 2-3 Precedenční graf návaznosti [23]

Uvedený (Obr. 2-3) ukazuje precedenční graf s 10 úkoly, a to s časy na provedení úkolů v rozsahu 1 a 10 (časových jednotek). Vidíme také omezení/priority pro sled úkolu, např. šipky v uzlu 5 značí, že zpracování vyžaduje nejprve vykonat úkoly 1 a 4 (přímé předchůdce) a úkol 3 (nepřímý předchůdce). Naopak úkol 5 musí být dokončen před úkolem 6 (přímým nástupcem) a před úkoly 8, 9 a 10 (nepřímými nástupci).

Přesto je zde prostor pro kombinace pořadí jednotlivých uzlů v rámci rozvrhování. Např. uzel 3 může být řazen jako první, nebo až následně po některém s úkolů 1, 2, 7. Úkol 1 může být vykonán jako první, nebo až po úkolu 3 nebo 4. Tímto způsobem můžeme vytvářet různé výrobní úseky a ty přiřazovat na stanice nebo vytvářet pracovní zóny.

Proces přiřazování na pracovní stanice a pracovní zóny se nazývá vyvažování montážní linky – Line balancing. Úroveň vybalancování v rámci jednotlivých variant je pak hodnocena pomocí ukazatelů **SI (Smoothness index)** a **LE (Linea efficiency)**. Vysoká úroveň vybalancování linky se pak vyznačuje plynulým tokem a efektivitou [32].

Pozn.: Ukazatel SI však nelze, na rozdíl od LE, jednoduše využít v rámci hodnocení linek, ale pouze k tomu, abychom mohli porovnat výsledky několika návrhů v rámci jednoho ALBP.

Od doby, kdy Henry Ford zavedl montážní linku, se stanovování konfigurace montážní linky stalo důležitým optimalizačním problémem, protože odlišné vybalancování montážních linek může znamenat velké rozdíly nejen z ekonomického hlediska [33].

Proces hledání optimální sekvence činností a její členění s přiřazením na pracovní stanice jsou označovány, jako Line balancing. V literatuře zaměřené na montážní linky je tato problematika označována jako Assembly line balancing problem ALBP.

S ohledem na podobnost přiřazování úkonu na pracovní stanice a přiřazování úkonu pracovníkům, (resp. pracovníků k pracovním úkonům) u této problematiky ještě zůstaneme.

### 2.2.3 Line balancing

ALBP (Assembly Line Balancing Problem) nesouvisí pouze s projektováním výrobních linek, ale výsledky ovlivňují následné řízení na úrovni dílny. Tato problematika nezahrnuje pouze přiřazování pracovní náplně na pracovní stanice, ale také definování časů cyklů a počtu stanic. Mezi úkoly patří také definice a přiřazení výrobních zdrojů. Mezi zdroje patří výrobní zařízení, pracovníci, materiál a energie.

Při definování zdrojů jde především o technické parametry (typ stroje, pracovní profese, kapacita...). Právě kvůli definování požadavků na obsluhu pro jednotlivé stanice dochází k záměně ALBP a rozvrhování pracovníků.

Ve vědecké diskusi se ALBP používá k označení především matematického modelování, které se snaží podpořit rozhodovací procesy v oblasti přiřazování úkonu na stanice. S ohledem na zmíněné trendy v oblasti flexibility linek a komplexnějších návrhů (i víceproduktových linek) složitost problému roste.

S ohledem na velký praktický význam není ohromující, že se touto problematikou zabývá i řada výzkumníků.

Od první matematické formalizace ALBP podle Salveson [26], byla akademická práce zaměřena především na základní problém konfigurace pro „Fordovu“ jedno produktovou linku. Vzhledem k mnoha zjednodušujícím předpokladům byl tento **základní problém** označen Baybars [27], jako **Simple assembly line balancing (SALBP)** Jednoduchý problém vyvažovací montážní linky.

Následné práce se však stále více pokouší rozšířit tento problém tím, že integrují relevantní praktické aspekty, např. paralelní stanice, alternativy zpracování nebo U-tvar linky, jak uvádí Becker–Scholl [34]. I přes tyto snahy, které už jsou obecně označovány jako **globální vyvažovací problém montážních linek (GALBP)**, je stále velký rozdíl mezi vědeckým výzkumem a praktickou aplikací.

Snaha vědců přiblížit matematické model praxi vede k celé řadě modifikací obecných modelů. Můžeme se tak setkat s mnoha označeními:

- MALBP (The Multi Assembly Line Balancing Problem)  
The Mixed Assembly Line Balancing Problem  
Problém zaměřený na víceproduktové linky a na linky s výrobním mixem
- ALBPWMB (The Assembly Line Balancing Problem With Moving Bootle neck)  
Problém, který se zaměřuje na víceproduktové linky s „plovoucím úzkým místem“
- ALWABP (The Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem)  
Problém rozšířený na vytváření pracovních zón
- FALBP (The Flexible Assembly Line Balancing Problem)  
Problém zaměřený na flexibilní linky s proměnným výkonem [35]

Problém se značením a rozlišením specifik jednotlivých problémů v rámci GALBP se snaží vyřešit Baybars [27], který věnoval úsilí rešerši stovek studií. Následně navrhl soubor parametrů (Příloha A), které mají pomoci rozlišit a poté označit jednotlivé případy v budoucnosti. Tímto členěním problému byla inspirována také metodika výběru vhodné strategie obsluhy linek.

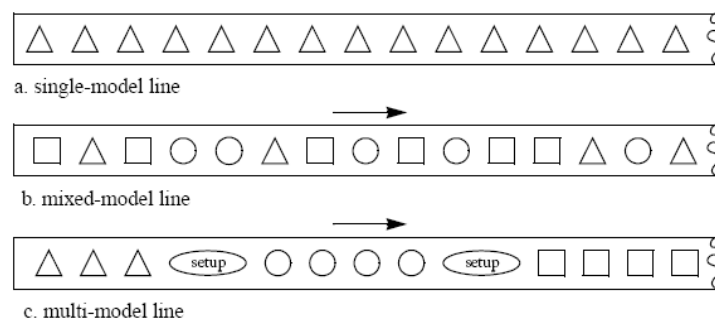
### 2.3 Kategorizace montážních linek.

Existuje několik klasifikací montážních linek v závislosti na různých faktorech.

#### 1) Podle počtu a uspořádání montovaných produktů

Rozlišujeme tři typy linek (Obr. 2-4):

- **Simple assembly line** (jednoduchá modelová řada): Linka zpracovává právě jeden druh výrobku nebo modelu. Někdy také Single assembly line (jednoproduktová montážní linka).
- **Multi-model line** (několikamodelová linka): Různé druhy výrobků se zpracovávají v dávkách, a to jako sled stejných dílů v dávce, po které následuje středně trvající seřízení.
- **Multi-mixed model line** (několikamodelová linka s výrobním mixem): Linka zpracovává jednotky různých modelů, smíchaných v libovolném pořadí, s velmi krátkým časem seřízení (přepnutí) mezi modely. [32]



Obr. 2-4 Ukázka výrobních sekvencí podle typu linky [32]



- 2) **Podle struktury precedenčního grafu rozeznáváme**
  - **S acyklickou strukturou** precedenčního grafu: Nedochozí k opakování některého úkonu ani k vícenásobnému využití stanice, byl-li produkt mezitím na jiné stanici.
  - **Se speciální strukturou** precedenčního grafu: Dochází např. k opakování činnosti montáže podsestavy (montáž, svrtání dílů, demontáž, zušlechťení a finální montáž), stočení plechu na lise, sváření a následnému stáčení na témže lisu.
- 3) **Podle procesních časů rozeznáváme**
  - **Stochastické linky:** Procesní časy jsou stochastické, jsou ovlivněny nahodilými jevy, nejčastěji vlivem lidského faktoru (zručnost, zapracovanost, přesnost a stálost uplatněné metody práce apod.).
  - **Dynamické linky:** Procesní časy se dynamicky mění, např. zapracováním pracovníků v průběhu zpracovávání malých sérií.
  - Statické a deterministické procesní časy zpravidla u strojních operací u synchronních linek: Procesní čas je dán programem řídicím zařízením (dopravníkem).
- 4) **Podle závislosti časů úkonů na jejich sekvenci**
  - **Přímé (directly):** Přírůstky času jsou ovlivněny procesem v téže stanici (výměna nástroje, přeupnutí.)
  - **Nepřímé (indirect):** Přírůstky času úkonu jsou ovlivněny jinou stanicí nebo logistikou. Významnou roli hraje např. přecházení pracovníka mezi stanicemi nebo zásobníky komponent.
- 5) **Podle omezení přiřazování úkonu na stanice nebo pracovníkům**
  - Podmnožiny úkonů jsou spojeny (**linked**) tak, že musí být vykonávány bezprostředně na téže stanici nebo tímtež pracovníkem.
  - Podmnožiny úkolů jsou neslučitelné (**incompatible**) a nesmí být přiřazeny na stejnou stanici nebo stejnému pracovníkovi například proto, že úkoly se navzájem ruší (vrtání a měření).
  - Přiřazení úkolů na stanici nebo pracovníkovi podléhá kumulativní hodnotě (**cumulated value**) nějakého atributu úkolu, např. jde o překročení hygienického limitu kumulativní svalové zátěže.
  - Některé úkoly musí být přiřazeny (**fixed**) ke konkrétní – samostatné – stanici nebo pracovníkovi, např. zdroj nelze přesunout při rekonfiguraci linky; práce pro odborný certifikovaný personál.
  - Některé úkoly nesmí být přiřazeny samostatně (**excl**), např. pracovník musí pracovat pod dohledem kvůli vlivům prostředí.
  - Některé úkoly musí být přiřazeny ke zdroji s určitým typem vybavení (**type**), např. s polohovacím přípravkem, svářecí kuklou.
  - Mezi úkony musí být minimální časová propodleva (**min.**), např. při sušení barvy.
  - Mezi úkony může být maximální časová propodleva (**max.**), např. aby nezaschlo lepidlo.
  - Pro přiřazení úkonů není nutno brát **žádná omezení** v potaz.





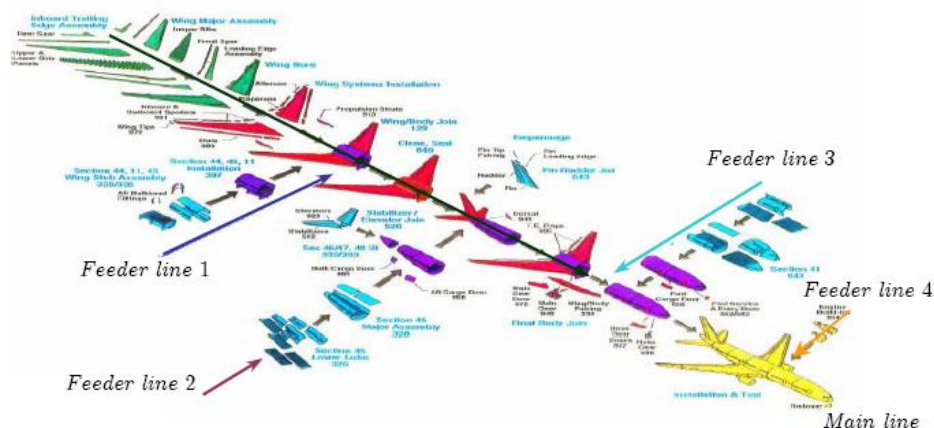


Obr. 2-6 Dvojstranné výrobní linky [24]

- **Paralelní linky:** Tento druh konfigurace lze nalézt v provozech, kde se zpracovávají dva různé modely. Každá linka vyrábí jeden produkt nebo rodinu produktů. Nejčastěji se s tím setkáme při zpracovávání párových dílů ve stejném objemu produkce, např. pravého a levého dílu pro tutéž montážní sestavu.
- **Linky s paralelními stanicemi:** Tento druh konfigurace je využíván v případě, že jedna nebo několik pracovních stanic svou kapacitou výrazně limituje propustnost linky. Úzké místo (bottleneck) je tak doplněno o duplicitní stanici. Případně jsou použity různé stanice pro obdobnou operaci a použita je vždy stanice přizpůsobená dané variantě produktu.

#### 8) Podle typu toku produkce rozeznáváme taktéž tři typy linek

- **Synchronní linky** (někdy také nazývané kráčejší linky): Všechny pracovní stanice mají stejné časy trvání. Jsou charakteristické tím, že mají pevnou rychlost výroby.
- **Asynchronní linky:** Pracovní stanice mají různé časy. Kusy proudí do další pracovní stanice, když jsou zcela dokončeny. U tohoto druhu linek má smysl implantace vyrovnávacích zásobníků a podavačů. Podavač umožňuje uložení kusů uložit kusy, přičemž pracovní stanice dokončí zpracování jiné jednotky.
- **Feeder (podávací/zásobovací) linky:** jsou doplňkové linie Doplňkové linky, které zajišťují zásobování do hlavního vedení. Například: výroba jde o výrobu lodí a letadel, jak je znázorněno na (Obr. 2-7).



Obr. 2-7 Podávací linky, které zásobují hlavní linku montáž podsestavou [20]

#### 9) Podle úrovně automatizace rozeznáváme





- **Ruční linky:** Převládají úkony prováděné ručně nebo mechanizací s ruční obsluhou.
- **Strojní linky** (též automatické): Převládají úkony prováděné automaticky, případně se provádí pouze vkládání či vyjímání dílu nebo dohled pracovníkem.

#### 10) Podle úrovně výkonové flexibility

- **Linky s pevným taktem:** Je definován pevný výrobní výkon, na požadavek zákazníka se reaguje pouze aktivací nebo deaktivací linky.
- **Linky s proměnným taktem:** Na zákaznický požadavek je možné reagovat změnou rychlosti linky, např. rozvržením úkolů mezi jiný počet operátorů

#### 11) Podle způsobu manipulace rozeznáváme

- **S ruční manipulací:** Díly, díly s přípravky nebo zásobník přesouvá mezi stanicemi pracovník obsluhy stanice.
- **S automatickou manipulací.** Pro manipulaci s díly mezi stanicemi je využit transportní systém, například pásové dopravníky, karusely, paletové unášedce, gravitační skluz, otočné zásobníky (případně manipulaci provádí jiný pracovník než obsluha stanice). Zpravidla na větší vzdálenosti jsou využívány transfer linky.

#### 12) Podle způsobu zásobování hlavním produktem rozeznáváme

- **Flow line** (nebo též One piece flow – tok jednoho kusu). Hlavní díl, který je v průběhu zpracovávání upravován nebo doplňován, je mezi stanicemi přesouván po jednotlivých kusech samostatně, bez hromadění v zásobníku.
- **Linka se zásobníky.** V rámci linky se využívají vyrovnávací zásobníky, potlačující vzájemné čekání stanic u asynchronních linek.

## 2.4 Shrnutí poznatků z rešerše

Pokud jde o balancování linek (tedy rozvrhování úkolu na pracovní stanice), bývá diskutována úspěšnost přenosu teorie do praxe. Empirické výzkumy Becker, C., Scholl, A [23] a Da Silva, G.G.M.P., Seibel Tubino, D.F. [36] uvádějí, že známé matematické algoritmy může pro projektování a balancování linek použít jen velmi malé procento společností. Díky současným trendům naopak významně narůstá propast mezi matematickými nástroji a praxí

Problematika rozvrhování úkonů na pracovníky je vnímána jako mnohem náročnější než rozvrhování úkonů na pracovní stanice, proto zmíněné závěry platí i zde. Hlavním příčinou pro to mohou být okolnosti, že i přes zjevné snahy o vyvinutí uživatelsky „přátelských“ stochastických modelů i používání heuristických algoritmů jsou tyto (např. MAPA multi-assignment problem-based algorithm) [37] pro praxi „příliš složité“, „specifické“ a spíše určené pro rozvrhování do směn, vyjmečně pro profese a automatizované a synchronizované linky. Obvykle se však abstrahuje od dynamických a stochastických vlivů způsobených lidmi, tj. především od působení lidských operátorů na modelovaný proces.



Další příčiny [34]:

- Současné modely nejsou schopny dostatečně matematicky popsat současné reálné problémy. (Problémy byly vědeckou prací pokryty, ale kvůli nadměrnému zjednodušení nedosáhly uspokojivých výsledků.)
- Jednotliví vědci dokáží propracovat speciální případové studie, ale tyto studie nelze vhodně zobecnit a sdílet s ostatními, resp. je nedokáží označit a zařadit do široké palety problémů a umožnit další práci vědecké veřejnosti.

Některé z těchto příčin by mohly být způsobeny problémem v komunikaci, který je způsoben nekonzistentním používáním pojmů a definic pro různé typy problémů souvisejících s rozvrhováním práce na stanice nebo mezi pracovníky [34]. Proto je důležité umět jednotlivé případy dostatečně přesně popsat a rozlišit. Této problematice rozlišování jednotlivých linek je věnována (Kap. 2.3). Kategorizace linek byla využita i v rámci tvorby metodiky týkající se hodnocení strategií obsluhy.

Nejedná se pouze o problémy komunikace v rámci vědecké komunity, ale také o předávání získaných znalostí do praxe [34].

Výše uvedené nedostatky poukazují na to, že věda zaostává za praxí již v přiřazování úkonu na stanice. Navazující činnost přiřazování pracovníků a její přenos do praxe je tak mnohem obtížněji řešitelným úkolem. Požadavky na širší sortimentu, fluktuace požadovaného množství denní produkce, personální problémy apod. náročnost ještě zvyšují, a to nejen co se týká rozvrhování pracovníků.

Problémem na straně použitelnosti současných algoritmů jsou zřejmé nedostatky obecných matematických modelů. Jednotlivé studie se proto snaží zahrnout odlišnosti výrobních podmínek i lidský faktor na straně operátorů. Výstup takové studie je pak těžké dostatečně zobecnit a zároveň zachovat dostatečnou přesnost. Jednouúčelový matematicky popis tedy nelze v obecné metodice, např. v dostupných algoritmech užívaných v metodách lineárního programování, vhodně zohlednit.

Ve výrobní praxi se proto mnohem častěji než čistě matematický aparát využívá diskrétní simulace pomocí objektů a logických pravidel a vazeb.

## 2.5 Dílčí vymezení problematiky

Protože žádná práce nemůže popsat celou problematiku, je vhodné soustředit pozornost jen na vybranou oblast. Proto se tato práce omezuje pouze na linky:

- S filozofií One piece flow (tok jednoho kusu), tedy bez mezioperačních zásobníků.
- Stanicemi jsou ruční pracoviště, vyskytují se pouze časy ruční nebo strojně – ruční práce.
- Ruční práce mající stochastický charakter spotřeby času.
- Předpokládají se pracovníci s rozdílnou výkonností.
- Zkoumány budou pouze základní strategie obsluhy linek bez hybridizace, tedy strategie Work zone (pracovní zóny), Rabbit chase (pronásledování zajíců) a Bucket brigades (hašení požárů).

### 3 STRATEGIE OBSLUHY LINKY

V České republice se v oblasti montážních linek uplatňují převážně dvě strategie. První z nich je uplatnění výše uvedených pracovních schémat označovaných jako klasická strategie pracovních zón (strategie Work zone – WZ), kdy má každý pracovník přiřazenou konkrétní operaci. Druhou používanou strategií je hon na zajíce – začátečníky (strategie Rabbit chase (RC) a tzv. karavana velbloudů (strategie One piece flow caravans – OPF-C), kdy pracovník přechází společně s výrobkem přes všechny operace. [38].

Nejen v České republice je v praxi poměrně „nová“ strategie nazývaná hašení požáru (Bucket brigades – BB) nebo také potravinová strategie mravenců (Foraging Strategies of Ants), která se obvykle využívá v logistických centrech pro vychystávání zásilek. Jsou tak rozvrhovány velké pracovní týmy vychystávající např. tabákové výrobky, tisk, knihy či elektroniku s využitím technologie Pick by Light a Pick to Point.

Povědomí praxe i odborné veřejnosti o strategii Bucket brigades (BB) je velice malé. Ale jak již bylo řečeno, v praxi často činí problém i rozlišování v oblasti rozvrhování úkolů na stanice a rozvrhování pracovníků, a proto je důležité základní povědomí o uvedených strategiích rozšířit. [14].

Při dalším zkoumání využíváme strategie rozvrhování pracovníků Work zone, Rabbit chase a Bucket brigades, které mají potenciál pro výrobní filozofii One piece flow. Zmíníme také strategii Chacku Chacku, která je svou logikou samoorganizací, velice podobnou strategii Rabbit chase, ale zaměřuje se na poloautomatizované linky s vysokým podílem strojních časů. O strategii Chacku Chacku se srozumitelně zmiňuje např. Kučerák [10].

Tyto strategie zjednodušují řízení výroby. Zjednodušují systém rozvržení práce mezi pracovníky a často napomáhají vyšší výkonnosti.

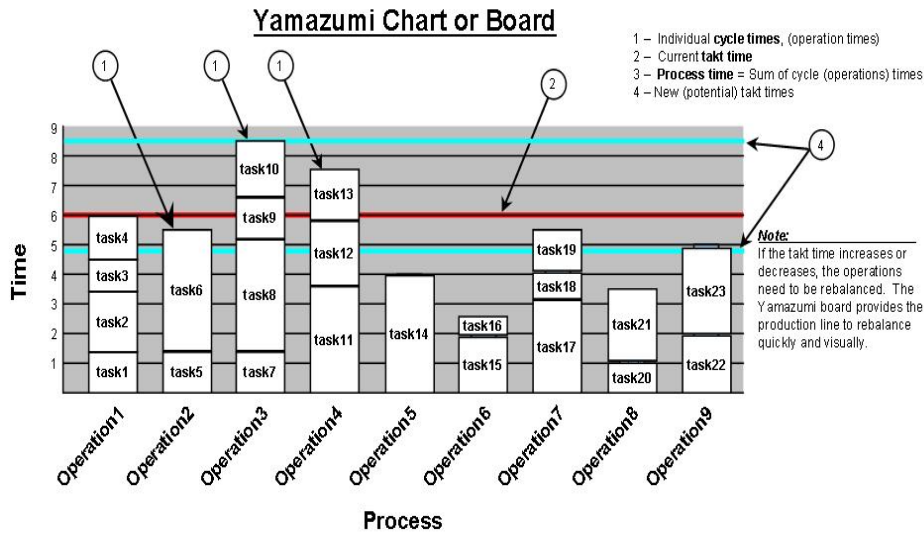
#### 3.1 Work zones - WZ

Strategie WZ vychází z předpokladu homogenního pracovního týmu a 100% opakovatelnosti práce. Všichni pracovníci jsou stejní a podávají konstantní výkon. Práci tak stačí rozdělit do stejných pracovních zón.

Pokud má tedy např. 10 pracovníků nosit vědra na vzdálenost 100 m, bude jim tato vzdálenost rovnoměrně rozdělena na 10 stejně náročných úseků (pracovních zón) o délce 10 m.

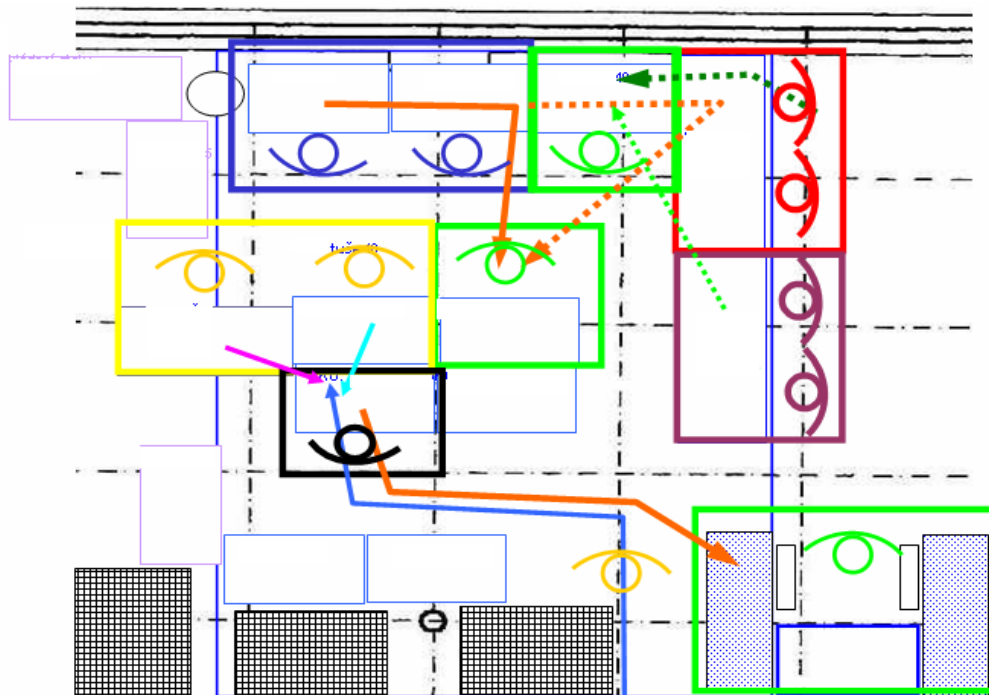
Při zmíněném zónovém rozvrhování montáže mezi pracovníky týmu se nejčastěji využívá rozvrhovacích diagramů založených na Yamazumi boardu (). Tento diagram slouží k vizualizaci rozložení činností na jednotlivé pracovní stanice. Tato rozvrhovací schémata jsou výstupem balancování linky, který je nutné vypracovat pro každý produkt nebo jeho inovaci. Rozvrhovací schémata by měli připravit projektanti montážní linky jako výstup balancování pracovišť pro řídicí pracovníky [39].

Jednou z úloh řešení ALBP (problému balancování montážních linek) je tvorba rozvrhových schémat nebo tabulek pro definované stupně výkonu linky. Tato schémata či tabulky pak využívají řídicí pracovníci jako pomůcku při rozvrhování pracovníků.



Obr. 3-1 Yamazumi board – balanční diagram [39]

Pro konkrétní požadovaný výkon (zákaznický takt) je definován počet operátorů. Těm je přiřazeno jejich přesné rozmístění v daném pracovním úseku podle rozvrhovacího schématu. Se změnou počtu pracovníků se uplatňuje vždy jiné rozvrhové schéma (Obr. 3-2).



Obr. 3-2 Rozvrhové schéma – rozmístění operátorů

Na ukázce rozvrhovacího schématu je barevně rozlišeno rozmístění jednotlivých pracovníků do pracovních zón a šipky naznačují materiálový tok. Stejná barva panáčka u pracovní stanice znamená, že jeden pracovník mezi stanicemi pravidelně přechází.

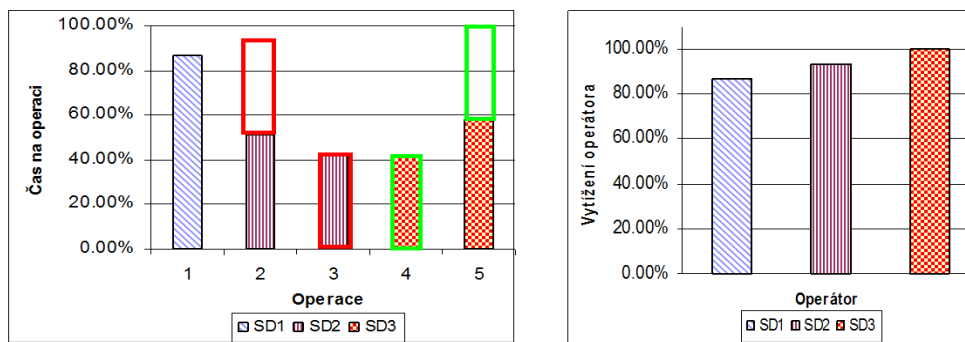
Toto schéma je doplněno rozvrhovací (Tab. 3-1), v níž je pro každou pracovní operaci uvedena max. kapacita (počet kusů za měsíc pro 100% obsazení stanice), procento obsazení obsluhou – pracovní vytížení (workload) pro požadovaný výkon linky (29 tis kusů za měsíc), identifikátor pracovníka a teoretické procento využití každého pracovníka.

Tab. 3-1 Rozvrhové schéma – přiřazení k operacím (stanicím)

Manufacture version CA167

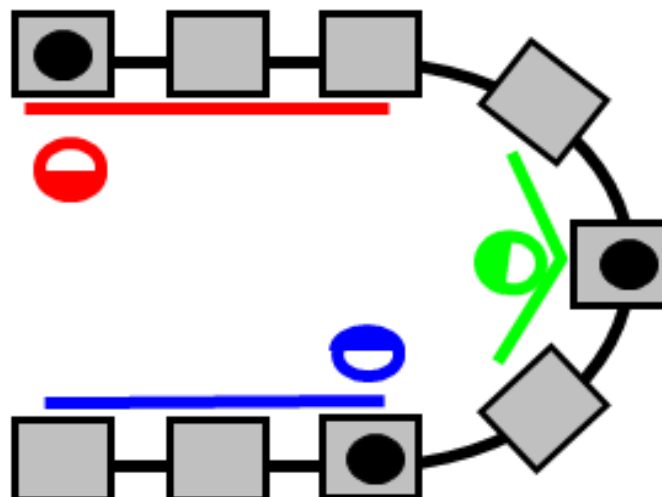
Operation	part's/monthly	workload	operator	Σ workload
Operation 1	132300	22,38%	A	
Operation 2	148050	20,00%	A	
Operation 3	131040	22,60%	A	
Operation 4	155295	19,07%	A	84,04%
Operation 5	59220	50,00%	B	99,21%
Operation 6	177345	16,70%	C	91,66%
Operation 7	62055	47,72%	C	
Operation 8	114345	25,90%	D	96,04%
Operation 9	60165	49,21%	B	
Operation 10	108675	27,25%	C	
Operation 11	42210	70,15%	D	
Operation 12	60795	48,70%	E	67,27%
Operation 13	397845	7,44%	E	
Operation 14	266175	11,12%	E	
Operation 15	29610	100,00%	F	100,00%
<b>Number of workers– Work distribute version 6-F100</b>				<b>6</b>
<b>Avg. workload of the assembly team –Work distribute version 6-F100</b>				<b>89,71%</b>

Obvyklým problémem odrážejícím omezenou možnost přesouvání výrobních úseku při balancování je nerovnoměrné vytížení pracovníků. To je vidět v (Tab. 3-1) nebo v (Graf 3-1) v němž jsou časové normy pro pracovní stanice porovnány s normami časovými pro obsluhu.



Graf 3-1 Pracovní zóna – časové normy

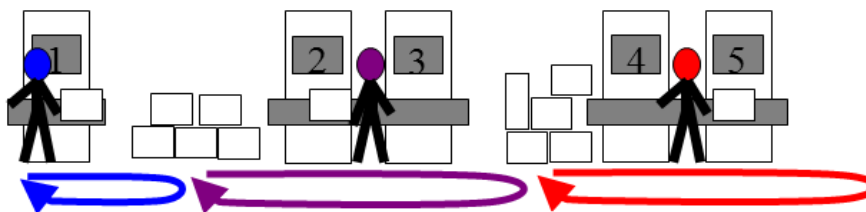
Strategie Work zones (WZ) se obvykle uplatňuje při aplikaci mezioperačních zásobníků, které zakrývají organizační nedostatky systém. Pohyb pracovníků v rámci jednotlivých zón ukazuje (Obr. 3-3).



Obr. 3-3 Work zones – pohyb obsluhy

Čas potřebný na pohyb v rámci pracovní zóny je zanedbán nebo je součástí cyklových času pracovníka.

Na (Obr. 3-4) je patrná rozpracovanost v případech, kdy není uplatněna strategie One piece flow (OPF).



Obr. 3-4 Work zones – pevné zóny

Pojistná zásoba mezi operacemi zakrývá problémy v systému a prodlužuje průběžnou dobu výroby. Zvyšuje riziko nekvality a má řadu dalších nežádoucích účinků. Proto je v rámci filozofie LEAN kladen důraz na to, aby se snížila rozpracovanost (WIP). Nejen proto je trendem strategií OPF uplatňovat. Někdy se také můžeme setkat s označením Flow line (průtoková linka).

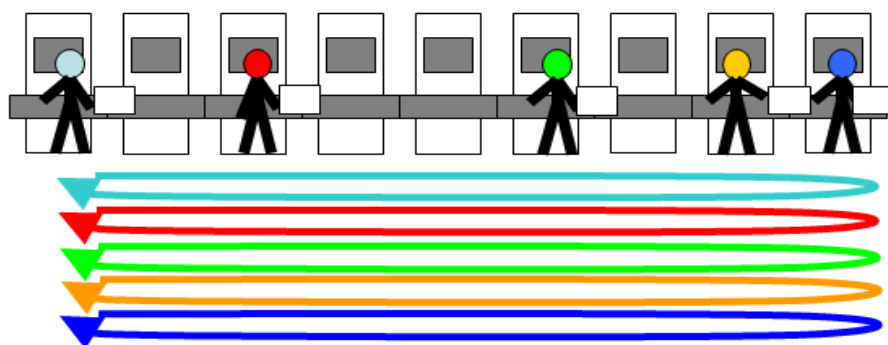
### 3.2 Rabbit chase / OPF –Caravans

Strategie RC taktéž vychází z předpokladu homogenního pracovního týmu a ze 100% opakovatelnosti práce. Bere však v potaz omezenou možnost kombinovat pracovní úseky do pracovních zón. Rovnoměrného zatížení pracovníků je docíleno přiřazením stejné činnosti rovnoměrně rozdělen je pouze objem práce [40].

Pokud má tedy např. 10 pracovníků odnést 20 věder na vzdálenost 100 m, bude množství rovnoměrně rozděleno a každý odnese 2 kusy na vzdálenost 100 m. Pracovník musí mít pouze dost času na postupné překonání jednotlivých úseků (stancí), aniž by museli ve stejný čas sdílet stanici s jiným pracovníkem.

Strategie Rabbit chase (RC), (OPF-C) je tedy vhodná pro méně náročné procesy, které nevyžadují od pracovníků speciální dovednosti, nebo stabilní týmy se zaplněnou maticí znalostí procesu. Je zde totiž nutné, aby pracovník zvládl celý proces (Obr. 3-5).



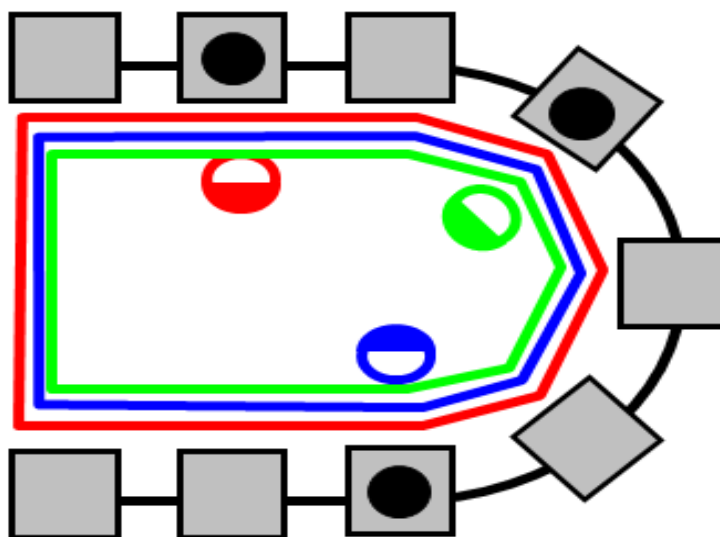


Obr. 3-5 Rabbit Chase – celý proces s jedním produktem

Náročnost a délka procesu mohou při volbě strategie hrát jistě roli. Avšak podle Miltenburg a Wijngaard (1994), je většina výrobních linek menších. Obvykle se skládají z méně než 30 úkolů a z 10 stanic [41]

Výhodou je zde úspora, související s tím, že výrobek není třeba mezi operacemi odkládat a znovu uchopovat. Není nutné vytvářet, monitorovat a řídit předávací mezisklady mezi operacemi. Snižuje se tak rozpracovanost, často i zmetkovitost, protože pracovník má z operací rychlou zpětnou vazbu. Tato strategie je systémovým představitelem filozofie toku jednoho kusu, jak napovídá jeden z názvů (OPF – Caravans).

Při menším obsazení obsluhou tato strategie nevyžaduje vybalancované operace, ale výkonově vyrovnaný tým operátorů. Zatížení pracovníků je z hlediska balancování rovnoměrné, neboť každý pracovník se pohybuje s dílem podél linky od první operace až po tu poslední (Obr. 3-6). Tedy každý člen týmu vykoná činnost jak na stanicích s nižší normou spotřeby času, tak na stanicích s náročnější normou.



Obr. 3-6 Rabbit Chase – pohyb obsluhy

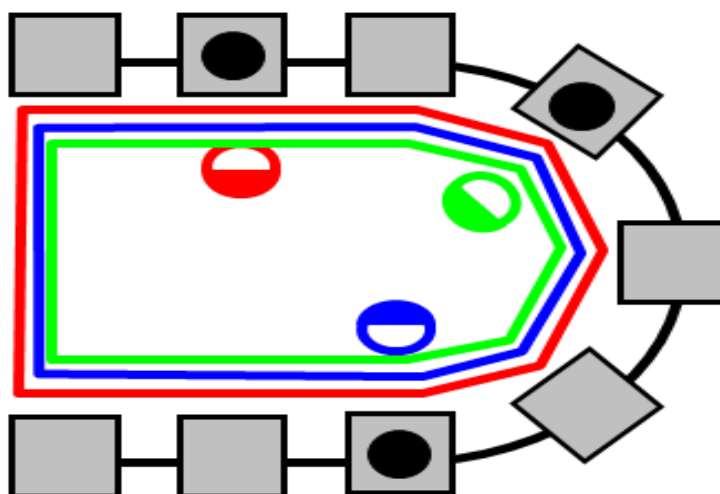
Není-li však předpoklad vyrovnaného týmu splněn, dochází k blokování operátorů, např. pomalejším kolegou v závěru. Jen při dalších opatřeních je tak možné motivovat pracovníky k vyšším osobním výkonům. Zpravidla se zde využívá výkonnostních prémie za celý tým, jehož členové jsou podřízeni nejslabšímu článku, viz teorie omezení – TOC [42]. Osobní ohodnocení se pak odvíjí od dalších dovedností, jako je např. matice znalostí (počtu) zvládnutých projektů (linek), od zlepšovacích návrhů, od podílu na údržbě a úklidu a též od počtu let odpracovaných ve firmě (loajalita).

### 3.3 Chacku Chacku

Chacku Chacku je práce v taktu a toku, kdy se pracovník s částmi, které mají být zpracovány, pohybuje z jedné stanice do druhé po pevně stanovené cestě. Části postupně vyjímá a pak zakládá do stroje.

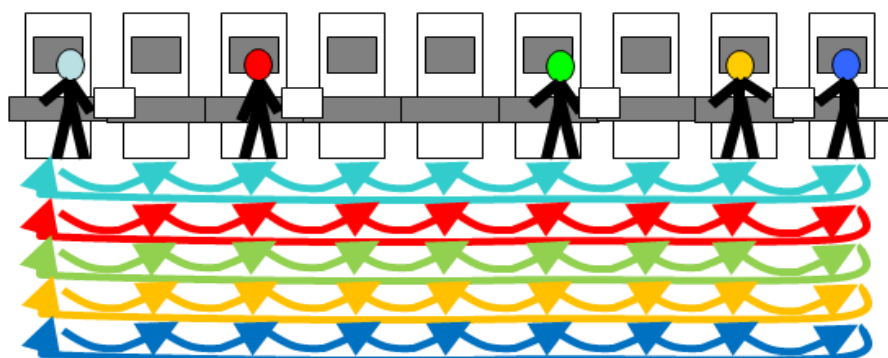
Tato strategie opět vychází z předpokladu homogenního pracovního týmu a ze 100% opakovatelnosti práce. Předpokládá se, že čas cyklu obsluhy je celým násobkem cyklu (polo)automatických stanic, tedy linka je složena např. z 20 stanic se strojním časem 1 s a celkový cyklus ručních činností pracovníka činí 40 s. Pro efektivní práci linky budou zapojeni dva pracovníci, kteří s vzájemným časovým posunem 10 s budou obcházet celou linku.

Pohyb pracovníka je tak shodný jako při uplatnění strategie Rabbit chase, jak je patrné z porovnání (Obr. 3-6) a (Obr. 3-7).



Obr. 3-7 Chacku Chacku – pohyb obsluhy

Rozdíl je však v manipulaci s produktem. Obsluha vloží část, která má být zpracována, na vstup stroje a spustí automatický chod. Zatímco stroj pracuje, odebere předešlý kus a jde k dalšímu stroji, zde založí nový díl, vezme kus čekající na výstupu a tak dále. Než dojde operátor na konec linky, strojní cyklus prvního stroje se ukončí a celý cyklus začne znovu. To, že pracovník opouští díl v nižším stadiu rozpracovanosti na vstupu do zařízení a přesouvá se k dílu na výstupu, naznačují šipky (Obr. 3-8).



Obr. 3-8 Chacku Chacku – Celý proces s přesunem mezi díly

Pokud stroje nemají schopnost díly automaticky vyhazovat, musí obsluha nejdříve vyjmout a držet předchozí díl a následně umístit do stroje díl nový. Stroj obsluha potom zapne a pracuje automaticky nebo poloautomaticky podle pořadí sekvence. Držený díl je přenesen na vstup stroje následujícího.



Principem Chacku Chacku je navrženo uspořádání potřebných strojů a zařízení v pořadí pracovní sekvence, a to co nejbliže u sebe, tak je to jen možné.

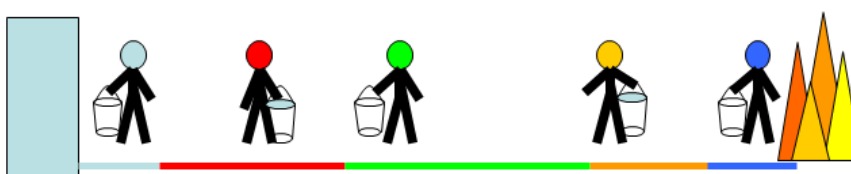
Klíčem k účinnosti linky Chacku Chacku je synchronizace mezi časy strojních operací a časy všech činností prováděných v rámci cyklu operátora, aby se maximalizovalo jeho využití. Uspořádání linky do U nebo O je pro tuto aplikaci velmi vhodné [40].

Předpokladem je, že statické prvky mají být rychlejší než transportní systém. Toto tvrzení platí jak o linkách Chacku Chacku, kdy cyklus stroje má být spíše kratší než cyklus opakování u obsluhy, tak o linkách s vynuceným tempem od dopravníků, kdy pracovník má být schopen provést požadované úkony s patřičnou rezervou [43] [44].

Protože se v této práci soustředíme na linky s ruční obsluhou a lze očekávat podobnou odezvu na ovlivňující faktory u strategií RC a Chacku Chacku, nevěnujeme strategii Chacku Chacku příliš velkou pozornost.

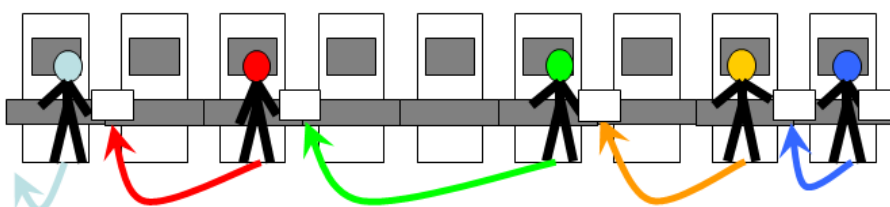
### 3.4 Bucket brigades / Forage retrieval in ants

S ohledem na velkou fluktuaci je dost opomíjena strategie Bucket brigades – BB [45]. Jedná se o systematické zkombinování předchozích dvou strategií. Pracovníci se chovají jako při hašení požárů za pomoci věder, (Obr. 3-9).



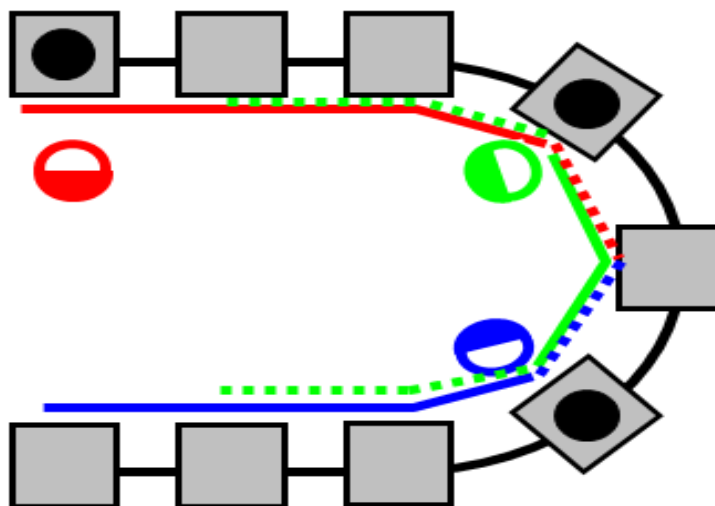
Obr. 3-9 Hašení požáru pomocí věder

Tým lidí, který hasí požár za pomoci věder, vytvoří tzv. lidský řetěz. Každý z týmu se tedy pohybuje mezi dvěma kolegy. První pracovník (hasič) běží s prázdným vědrem naproti kolegovi nesoucímu vědro s vodou, dokud se nepotkají a vědra si nevymění. První pracovník (hasič) se pak vrací s plným vědrem směrem k požáru. Druhý pracovník se vrací směrem ke zdroji, dokud se nepotká tentokrát se třetím pracovníkem (hasičem), který běží s plným vědrem. Přebírání dílu od pracovníka blíže ke zdroji je znázorněno na (Obr. 3-10).



Obr. 3-10 Bucket Brigades – dynamické zóny

Tímto systémem si postupně rozdělí úseky mezi zdrojem vody a požárem. Získané úseky reflektují na aktuální pracovní podmínky (terén) a schopnosti pracovníků (hasičů) a přirozeně reagují na únavu jednotlivých členů týmu nebo na jeho zvětšení. Pracovní úseky jsou tedy dynamické (Obr. 3-11) Nepotřebujeme tedy žádné měření času ani vyvažovací diagramy, na kterých je založena první strategie.



Obr. 3-11 Bucket brigades – obsluhované stanice po ustálení

Lze očekávat, že tento princip dynamického balancování kapacit bude adaptabilní vůči stochastickým vlivům.

Strategie BB vychází z předpokladu **nehomogenního** pracovního týmu, tedy pracovníci se výkonově odlišují. Práci je nutné rozdělit do různých pracovních zón.

Pro samo organizování v rámci BB se předpokládá, že pracovníci jsou řazeni podle své výkonnosti. Tedy pracovník, který by omezoval rychlejší kolegy v pohybu, vstupuje do procesu jako poslední. Nejvýkonnější pracovník po finálním dokončení produktu vyvolá požadavek na rozpracování dalšího kusu. V místě převzetí díl dynamicky definuje teoretické pracovní zóny.

Kdyby byla strategie Work zone zvolena při hašení požáru, vycházelo by se z předpokladu stejné výkonnosti všech členů týmu. Změřila by se vzdálenost od požáru ke zdroji vody a podle počtu hasičů by se rozdělila na stejné úseky. Hasiči by pak na hranicích svého úseku čekali na pomalejší kolegy a tím by docházelo ke ztrátám a ke snížení efektivity, která může rozhodnout o úspěchu a neúspěchu.

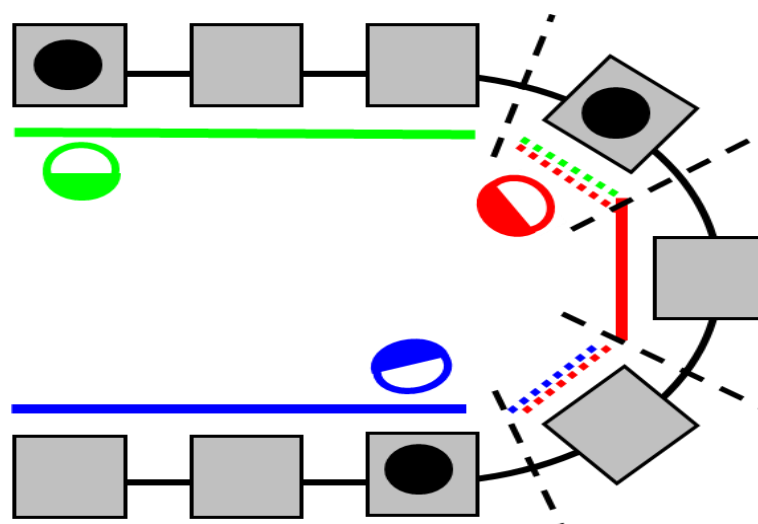
Oproti druhé strategii Rabbit chase nejspíš není nezbytně nutné, aby pracovníci zvládali na vysoké úrovni celý proces. Lze předpokládat, že nebude kladen nárok na velký stupeň vybalancování týmu a pravděpodobně nebude u všech pracovníků nezbytná ani komplexní matice znalostí operací. Proces se tak proti pracovní fluktuaci jeví jako stabilnější. Bude přitom možné zachovat malou rozpracovanost. Tím, že bude pravděpodobně potlačeno blokování produktivnějších pracovníků, může být podpořena jak týmová, tak individuální výkonnost. Tato očekávání budou ověřena počítačovou simulací.

### 3.5 Hybridní strategie

Jedná se především o kombinaci předešlých strategií – např. štafetový běh.

#### Hybridizace - Štafetový běh, předávací území

Je kombinací strategie pracovních zón (WZ) a strategie hašení požáru (BB). Pracovníci jsou přiřazeni do pracovních zón, které se ale navzájem částečně překrývají. Je tak vytvořeno jakési předávací území, podobné štafetovému běhu (Obr. 3-12).

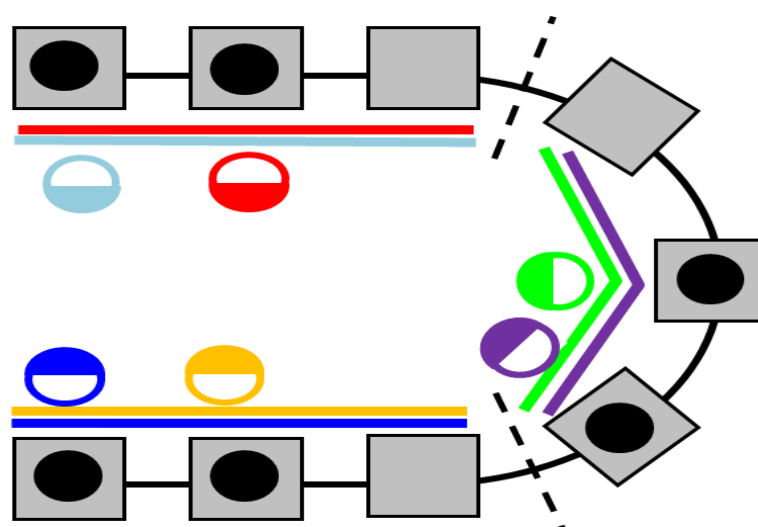


Obr. 3-12 Hybridní strategie – předávací území

Pokud však pracovník dosáhne konce předávacího území, již dále nepokračuje. V případech, kdy produkt dokončí a opouští jej, naruší tok jednoho kusu a vzniká tak rozpracovanost WIP.

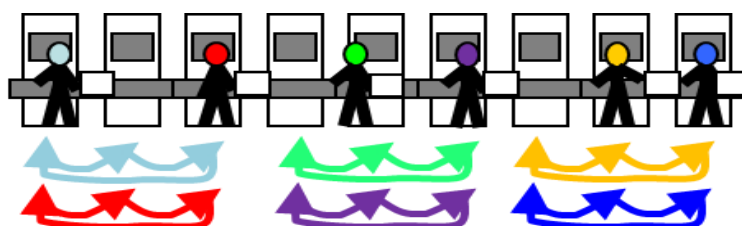
#### Hybridizace – Pravidelná rotace práce v zónách

Tato hybridizace je kombinací strategie pracovních zón (WZ) a strategie pronásledování zajíců (RC) (Obr. 3-13). Pracovníci jsou přiřazeni dopevných pracovních zón, v kterých zpracují díly v celém úseku od vstupu do zóny až po výstup ze zóny. V rámci zóny tak pravidelně roují (Obr. 3-14).



Obr. 3-13 Hybridní strategie – Pravidelná rotace práce, pohyb obsluhy

Je třeba pracovní zóny vzájemně co nejlépe vybalancovat. Ale stanice již nemusejí být v rámci jedné zóny dokonale vybalancované. V případě kapacitně nevyrovaných zón, bývají na jejich hranicích uplatněny vyrovnávací zásobníky.



Obr. 3-14 Hybridní strategie – Pravidelná rotace práce

Hybridizace se využívá např. v době zácviků pracovníků, nebo jsou li požadavky na omezené přiřazení některých úkonů atp.

Protože jde o kombinace, další pozornost věnujeme pouze výše popisovaným třem základním strategiím: WZ, RC, BB.

### 3.6 Faktory ovlivňují výsledné parametry systému

V rámci teorie systémů obsluhy WZ, RC, BB, bylo zmíněno několik předpokladů (zjednodušení), které v praxi nejsou zajištěny. Důležitou otázkou je pak to, jaký efekt má na výsledné parametry systému nesplnění těchto předpokladů.

V další části uvedeme očekávání související s odezvou systému na jednotlivé ovlivňující faktory.

#### 3.6.1 Změna taktu – počtu pracovníků

Lze předpokládat, že tento faktor bude mít významný vliv na vhodnost jednotlivých strategií řízení.

Budou-li v zákaznickém taktu velké výkyvy nebo nebude-li pracovníků (fluktuace, nemocnost...) dostatek, lze předpokládat, že strategie Work zone bude oproti ostatním strategiím obtížně dosahovat pozitivních hodnot parametrů, především produktivity, pro úrovně zaplnění linky.

U strategie Rabbit chase lze předpokládat, že v době dnešního nedostatku pracovníků bude nesnadné zaplnit proces operátory plně zvládajícími všechny operace na úrovni krátkého taktu. Přitom je třeba zajistit jejich zaškolení, a to i s ohledem na další procesy, aby je v době malé poptávky zákazníků bylo možné kapacitně využít.

Při velkých výkyvech zaplnění pracovišť operátory lze předpokládat, že bude vhodné využít strategie Bucket brigades. Tato dynamická strategie by měla být schopna na tyto změny reagovat nejlépe, avšak toto tvrzení je nutné ověřit.

#### 3.6.2 Osobní výkonnost pracovníků

Lze očekávat, že výkonnost a úroveň zapracování operátorů a možnost využití jejich potenciálu v rámci jednotlivých strategií se projeví poměrně různě, a to především v oblasti výkonnosti procesu. Přestože individualita jednotlivých operátorů bývá v oblasti projektování procesu zanedbávána, velice významně se projevuje v oblasti jeho řízení.

Lze vytušit, že rozdílnou výkonnost pracovníků v případě strategie Rabbit chase je možné potlačit vyrovnávací zásobou mezi operacemi. Tato zásoba zvyšuje již zmiňovaný parametr rozpracovanosti výroby, což je nežádoucí a v rozporu se zaměřením práce na OPF linky.

Tento faktor v případě strategie One piece flow – Caravans se podle zkušeností bude projevovat blokováním pracovníků. Tento efekt se projeví poklesem parametru produktivity procesu.

Princip strategie Bucket brigades je založen na dynamickém pravipodle, proto lze předpokládat, že z hlediska této filozofie by zde měl být vliv tohoto faktoru na parametr produktivity minimalizován.

### 3.6.3 Pořadí pracovníků

Pokud předpokládáme vliv zapracovanosti obsluhy na její produktivitu, je nutné rozlišovat i jednotlivé pracovníky. Lze tedy očekávat, že na výkonnost linky bude mít dopad i odlišné rozvržení pracovníků.

U strategie Work zone se předpokládá vybalancovaný proces (linka) a výkonnostně homogenní tým, ale zpravidla není zajištěn ani jeden předpoklad. Pokud zařadíme „pomalejší“ pracovníka na stanici tvořící úzké místo (ÚM), lze očekávat pokles produkce. Pokud na ÚM vybereme pracovníka „rychlého“, lze očekávat omezení vlivu ÚM a zvýšení propustnosti linky.

U strategie Rabbit chase obsluhují pracovníci všechny pracovní zóny, a lze tedy očekávat, že pořadí pracovníků bude mít jen minimální vliv.

Strategie Bucket brigades má požadavek na řazení pracovníků, a to takový, že „nejpomalejší“ pracovník je na vstupu do procesu a ten „nejrychlejší“ produkt dokončuje. Díky rozdílům mezi pracovníky dojde k přerozdělení zón. Pokud zvolíme špatné pořadí, lze očekávat podobné pronásledování pomalejšího pracovníka, tak jako u strategie Rabbit chase. Při vyšším obsazení linky pak lze očekávat podobný dopad jako u strategie Work zone (konflikt ÚM a „pomalejšího“ pracovníka).

### 3.6.4 Přecházení mezi operacemi

Vepodlejší časy nutné při přecházení mezi operacemi jsou chápány jako hlavní a někdy i jediné kritérium pro volbu strategie. Většina řídicích pracovníků se rozhoduje zamítnout strategii Rabbit chase právě na základě předpokladu přecházení mezi pracovišti.

V rámci strategie Work zone lze předpokládat menší vliv přecházení v případě, že je obsazena nadpoloviční většina pracovišť a většina pracovníků se nepohybuje. Ale v případě, kdy je pracovní zóna tvořena více než dvěma pracovišti, je vzdálenost při návratu pracovníka obvykle větší než vzdálenost k dalšímu stroji.

Tvar linky pak hraje roli v případě již zmíněné strategie RC, kdy právě návrat pracovníka hraje roli u linek typu I nebo L. Naopak tvar linky typu O nebo U je vhodný pro strategii RC.

U strategie Bucket brigades lze předpokládat dopad přecházení obdobný jako u strategie WZ. Opět bude vliv spíše menší u strategie BB nežli u strategie WZ, neboť lze očekávat, že větší vzdálenosti nachodí „rychlejší pracovníci“.

Jsou-li v daném případě časy přecházení (manipulace) v porovnání s časy operací nevýznamné, bývá volena strategie Rabbit chase. Pohybu pracovníka se obvykle využívá k přesunu produktu na další stanici.

### 3.6.5 Vybalancování procesu

Úroveň dosaženého vybalancování pracovišť ovlivňuje čekání pracovníků, efektivitu procesu a motivaci. Lze zde očekávat i vazbu na faktor zaplněnosti procesu operátory.

Nedokonalé vybalancování se bude v případě strategie Work zone projevovat zvýšenou spotřebou fondu pracovníků, a to vlivem čekání na hranicích s rozdílnou časovou normou.

U strategie One piece flow – Caravans se zároveň s tím, jak klesá úroveň vybalancování operací, bude s rostoucím počtem pracovníků měnit efektivita. Při malé

obsazenosti bude zpoždění mezi operátory fungovat jako časový zásobník a vliv ÚM může být v omezené míře potlačen.

Podobný efekt lze očekávat i u strategie Bucket brigades. Zde může hrát roli také poloha ÚM s ohledem na požadavek rozdílu rychlosti mezi pracovníky a na jejich pořadí [46].

### 3.6.6 Časová náročnost operace

U strategie WZ lze v případě krátkých časů operací předpokládat, že linka je projektována (členěna) na hranici velikosti jednotlivých výrobních úkonů a že je důležitě vybalancována. V případě dlouhých časů má na spotřebu času větší vliv metoda práce a nasazení pracovníka (pracovník má omezenou zpětnou vazbu na spotřebu času).

U strategie Rabbit chase hraje roli spíše poměr času přecházení pracovníka k časům přidávajícím hodnotu (viz přecházení pracovníků).

### 3.6.7 Opakovatelnost činnosti

Většina výpočtů a modelů pracuje s „pevnými“ deterministickými časy, Scholl, [47]. reálné výrobní systémy však tuto vlastnost nemají. Jednotlivé časy se liší cyklus od cyklu, Buzacott, [48] a Scholl, [49] Především opakovatelnost lidské činnosti se odvíjí od její náročnosti a standardizace. Opakovatelnost činností ale zpravidla nemůžeme ovlivnit ve smyslu řízeného nastavení hodnoty. Malé stochastiky dociluje například vysoká automatizace.

Lze tedy očekávat, že pevně svázané procesy v rámci strategie toku jednoho kusu bez pomocných zásob budou negativně ovlivněny nahodilými konflikty.

V rámci strategie Work zone se budou ve vzájemné interakci teoreticky setkávat s časovými konflikty i vybalancovaná pracoviště. Například pokud se pracovníkovi nepovede snadno zachytit závit šroubového spoje, dojde ke zdržení a kolega bude čekat. Přestože jiný díl statisticky zpracuje rychleji, bude pravděpodobně čekat na kolegu.

U strategie Rabbit chase nedochází k předávání dílu, proto by k interakcím nemuselo docházet tak často jako u strategie Work zone.

U strategie Bucket brigades je předání dílu možné pouze po dokončení operace nebo po dokončení celého úkonu v rámci operace. Proto lze očekávat dopad obdobný strategii Work zone. S ohledem na dynamiku zón u BB je očekáván spíše menší dopad.

### 3.6.8 Motivace pracovníků

Motivace pracovníků k rostoucímu výkonu je limitována blokováním pomalejšími kolegy. Přestože jsou u jednotlivých pracovníků často vytvořeny motivační nástroje, orientované nejen na kvalitu, ale také na výkon, je v rámci jednotlivých strategií limitovaný prostor. V rámci filozofie OPF prostor není, pokud se pracovní zóna nerozšíří.

U strategie Rabbit chase má výkonnější pracovník možnost uplatnit vyšší produktivitu jen v rozsahu, který mu umožňuje povolená rozpracovanost, případně další organizační nástroje, např. rotace pracovníků.

U základní strategie One piece flow – Caravans není prostor pro využití většího výkonu, než jakého dosahuje nejslabší pracovník týmu. To je často stresující jak pro „brzděného“, tak pro „brzdícího“ pracovníka.

Strategie Bucket brigades umožňuje díky již zmíněné dynamice přerozdělit zátěž mezi jednotlivé členy týmu. Náročným úkolem je však monitoring práce, odváděné jednotlivými pracovníky, a uspořádání pracovníků podle výkonnosti.



## 4 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Vzhledem k výše popsané problematice je cílem disertační práce návrh metodiky určené pro systematický výběr vhodné strategie obsluhy na víceproduktových montážních linkách v SME.

Hlavního cíle bude dosaženo těmito následujícími kroky:

### 1) Analýza problémů balancování výroby; rozbor používaných metod a přístupů k rozvrhování pracovníků.

Cílem je kategorizovat současné problémy pro účely metodiky a popsat hlavní strategie.

### 2) Porovnání hlavních strategií s ohledem na jejich aplikovatelnost.

Cílem této části je pokročilé poznání chování tří testovaných One piece flow strategií, a zohlednit přitom stochastické chování reálných systémů, nekorespondující s teoretickými předpoklady pro fungování jednotlivých strategií.

Výsledkem je ověřit:

- flexibilitu strategií s ohledem na proměnlivý výkon,
- vliv různé kvalifikace a výkonu jednotlivých pracovníků na produkci linky,
- vhodnosti různých strategií při stochastickém chování výrobního procesu.

### 3) Návrh metodiky pro volbu vhodné strategie.

Cílem je navrhnout takovou metodiku, aby se usnadnilo rozhodování řídicích pracovníků, a to při zvážení alternativní strategie určené pro rozvrhování a řízení pracovníků na montážní lince.

Hlavními kritérii pro určení vhodné strategie:

- Fond spotřeby času pracovníků.
- Čas na zpracování požadavků, tzv. makespan

### 4) Ověření navržené metodiky systematického výběru strategií ve výrobní praxi na reálných modelech strojírenské výroby.

Cílem je ověřit navrženou metodiku porovnáním s výsledky simulačních experimentů na modelu z výrobní praxe (model reprezentující reálný proces průmyslové praxe).

#### 4.1 Reflexe v rámci případové studie

V této kapitole nastíníme řešenou problematiku pomocí případové studie. Jedná se o společnost, která se zabývá repasí svítidel.

V rámci analýz byly identifikovány tři hlavní typy přepracování produktu, které jsou však rozpoznány až v průběhu zpracování, tj. při testování funkčnosti produktu. Šlo tedy o vynucenou výrobu v produktovém mixu. Časy zpracování jednotlivých typů se přitom značně liší.

Výroba zde probíhá tradičně ve formě vnější linky ve tvaru písmene U (L). Jedná se o ruční linku. Pracovníci jsou rozmístěni vně linky, po vykonání své operace (případně operací) předají výrobek/díly na další pracoviště, tzn. je aplikována tradiční strategie Work zone (strategie pracovních zón). Ta však naráží na zásadní limity.

Zákazníkem požadované objemy se v jednotlivých dnech taktéž lišily, a to jak v celkovém množství, tak ve skladbě sortimentu. Objem výroby lze přitom regulovat pouze zkracováním směn a přesčasů.

V případě požadavku na plné využití linky a v případě absence operátora nebyla možnost jej nahradit pracovníkem z jiného projektu nebo pracovníkem agenturním (oproti situaci obvyklé ve větších firmách).

Supervizor má přitom k dispozici minimum nástrojů, tedy prakticky jen několik dat v Excelu. Rozvrhnout efektivně např. 11 pracovníků na montážní linku s 13 zónami se tak zdá jako nadlidský úkol.

Nejprve proto bylo provedeno nové balancování linky. Přerozdělením činností bylo možné pro každý samostatný produkt P01, P02, P03 vytvořit rozvrhová schémata pro 1, 2, 3, 4, 6 a 12 operátorů. Tato schémata měla řídicímu pracovníkovi pomoci s přiřazením pracovníků do pracovních zón.

Při porovnání pracovních zón podle typu produktů byly hranice jednotlivých pracovních zón posunuty. Rozsah pracovních zón je ovlivněn v závislosti na tom, který produkt by se vyráběl při dávkovém zpracování.

Jak v takovém případě rozvrhnout pracovníky při produkci ve výrobním mixu?

Rozdílná časová náročnost ovlivňuje nemožnost splnit normu, demotivaci a stres pracovníků. Přichází problémy s výkonností, ale i s dostupností personálu.

Rostoucí fluktuace pracovníků má vliv na zapracovanost (výkonnosti) jednotlivých pracovníků.

Zručnost a zkušenost pracovníka ovlivňují nejen jeho výkonnost, ale také časovou stabilitu procesu s ohledem na charakter ruční práce, která má stochastický charakter.

Interní zprávy sdružení MTM pro Českou republiku a Slovenskou republiku, které odkazují na dlouhodobou činnost sdružení v řadě společností, poukazují na velký rozptyl spotřeby času až v několika desítkách procent.

Jak již bylo zmíněno, prostředí a podmínky v rozvrhování se neustále rozvíjí. Oproti Fordově problematice SALBP se v případě diskutované firmy jedná o jeden z mnoha typů GALBP - Global Assembly Line Balancing Problem (globální problém balancování montážní linky).



Mezi nedostatky strategie pracovních zón patří především následující faktory:

- Flexibilitu objemu produkce lze řídit pouze zkrácením směny nebo přesčasů.
- Efektivně lze zapojit pouze vybrané počty pracovníků.
- Při produktovém mixu s plovoucím ÚM je tato strategie silně neefektivní.
- Odlišná výkonnost operátorů dále snižuje propustnost linky.

V rámci této konkrétní studie byla identifikována celá řada „moderních“, specifických technickoorganizačních vlivů, kvůli nimž (při snaze uplatňovat tradiční strategii pracovních zón) docházelo oproti předcházejícím období bez výkyvu zákaznických poptávek k významnému poklesu produktivity až v řádu desítek procent.

Omezené možnosti WZ jasně vyvolávají otázku hledání alternativy.

V návaznosti na motivaci pracovníci uváděli ještě tyto nedostatky:

1. Nerovnoměrné zatížení všech pracovníků, při týmovém odměňování (práce není mezi pracovníky rovnoměrně rozvržená).
2. Nemožnost využít svého pracovního potenciálu kvůli omezení ostatními pracovníky (při zařazení individuální složky odměňování nemají pracovníci jak ovlivnit vlastní výkon, jsou-li vázáni k pracovní zóně a jejímu vstupu).

## 4.2 Stanovení hypotéz

Také reflexe případové studie poukazuje na limity strategie Work zone. Proto se při formulaci hypotéz soustředíme na zjištění, zda strategie Rabbit chase nebo strategie Bucket brigades mohou být alternativou pro strategii Work zone.

Pro první porovnání je nutné zajistit ideální podmínky, vycházející při definování teorie WZ ze zjednodušujícího předpokladu.

### 4.2.1 Hypotéza 1H<sub>0</sub>

Strategie Rabbit chase a Work zones, mají stejnou produktivitu pokud:

1. Všechny pracovní stanice jsou dokonale vybalancovány  
(Line efficiency = 100%, Smoothness index = 0)
2. Pracovní tým je plně homogení (plnění normy = 100 %)
3. Stochastika ruční práce je zanedbána (opakovatelnost = 100 %)
4. Přecházení pracovníků je zanedbáno (čas přesunu = 0 sec)
5. Obsazenost linky vždy zaručí rovnoměrné rozložení stanic do pracovních zón pro strategii WZ

**Opačná hypotéza 1H<sub>1</sub>** produktivita strategií RC a WZ se za uvedených podmínek liší.

#### 4.2.2 Hypotéza $2H_0$

Strategie Bucket brigades a Work zones, mají stejnou produktivitu při splnění stejných podmínek jako u hypotézy  $1H$ .

**Opačná hypotéza  $2H_1$**  produktivita strategií BB a WZ se za uvedených podmínek liší.

**Závěry z hypotéz  $1H$  a  $2H$**  pokud bude splněna nulová hypotéza, lze strategie považovat za alternativní ke strategii WZ (pracovních zón).

#### 4.2.3 Hypotéza $3H_0$

Strategie Bucket brigades a Rabbit chase mají stejnou produktivitu i v případě, že poslední podmínka bude přeformulována. Tedy za podmínky, že strategie se shodují pro jakoukoliv obsazenost obsluhou při splnění ostatních podmínek hypotézy  $1H_0$ .

**Opačná hypotéza  $3H_1$**  produktivita strategií BB a RC se za uvedené podmínky liší.

**Závěry z hypotéz  $3H$**  pokud bude splněna nulová hypotéza, za zjednodušujících podmínek lze strategie BB a RC považovat za srovnatelné.

#### 4.2.4 Hypotéza $4H_0$

Bucket brigades, Rabbit chase a Work zones mají stejnou produktivitu i v případě stochastických vlivů. Na zvolené strategii nezáleží.

**Opačná hypotéza  $4H_1$**  je produktivita strategií BB a RC se za uvedené podmínky liší. Na zvolené strategii tedy záleží.

**Závěry z hypotéz  $4H$**  pokud bude splněna nulová hypotéza, lze strategie BB, RC a BB považovat za srovnatelné. V opačném případě je nutné porovnat dopady v rámci prvotního zjednodušení zanedbaného působení doplněných faktorů.

Uvedené hypotézy byly prověřeny pomocí počítačové simulace. Počítačové simulaci je věnována následující kapitola (Kap. 5).

## 5 SIMULAČNÍ MODEL A DATOVÁ BÁZE

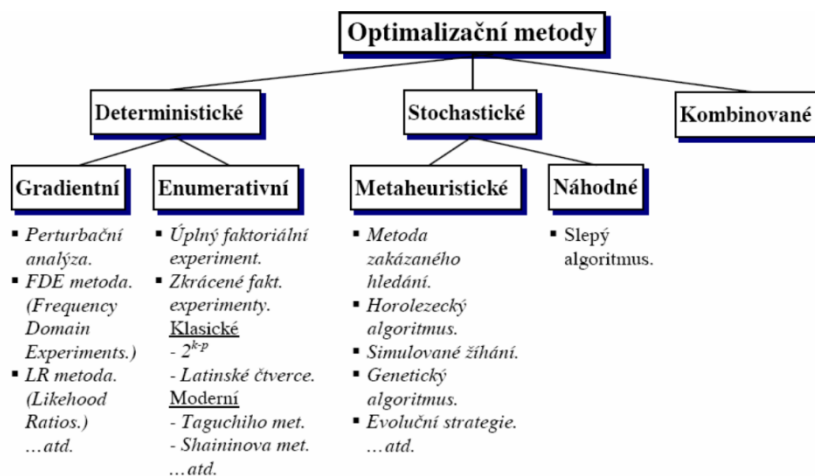
Protože se jedná o práci založenou na počítačové simulaci, považujeme za nutné vysvětlit některé základní představy o simulaci. Principy simulace výrobních procesů a hlavních myšlenek týkajících se této problematiky uvádíme dále [50].

Pro návrh a analýzu jednotlivých částí logistických systémů se používají různé metody. Patří mezi ně také simulace. Simulace je nahrazení reálného prostředí modelem. Na modelech jsou následně realizovány experimenty, které jsou vyhodnocovány. Na základě vyhodnocení a vzájemného porovnání jsou činěna rozhodnutí o realizaci vhodných opatření. Cílem je obvykle nejen lépe poznat modelovaný proces, ale často také nalézt nejlepší nastavení pro minimum nebo maximum specifikované účelové funkce.

Uvažujeme-li logistický systém jako celek, včetně jeho řídicí logiky a informačních toků, pak v závislosti na tom, jaké logistické aktivity chceme jeho analýzou řešit, používají se zejména následující metody [51] [52]:

- deterministické výpočty,
- operační analýza – metaheuristika,
- dynamická simulace.

K nalezení globálního extrému účelové funkce je využívána řada metod. Přehled nejčastěji používaných metod je uveden na (Obr. 5-1).



Obr. 5-1 Přehled optimalizačních metod [30]

Pro jasně specifikované, zpravidla významně abstrahované problémy se využívá matematického modelování založeného na soustavě rovnic, nerovnic a okrajových podmínek.

Komplexnější problematika v oblasti logistiky a výrobních systémů je dnes často simulována na základě objektově orientovaných modelů provázaných řídicí logikou.

### Dynamická simulace

Dynamická simulace je jedinou metodou umožňující modelovat chování i velmi složitých systémů v dynamických souvislostech, a to s uvažováním vývoje systémů v čase, s uvažováním všech podstatných interních vazeb a externích vlivů a s uvažováním náhodnosti probíhajících jevů. Počítačová simulace výroby odkazuje na koncept navrhování modelu skutečného nebo teoretického fyzikálního systému.

Vytváření digitálního modelu v počítači a jeho časová analýza jsou podstatou experimentování. Simulace napomáhá lepšímu porozumění procesů, její výsledky pak lze dobře interpretovat [53].

Modelování je usnadněno použitím moderních simulačních nástrojů, které umožňují tvorbu modelů blokově orientovaným způsobem. Ze známých vlastností jednotlivých komponent systému a z jeho řídicí logiky lze postupně vytvořit model, který velmi dobře vystihuje chování reálného systému [54].

Podobně jako operační analýza je však i simulace poměrně náročná na volbu potřebné úrovně podrobnosti simulačních modelů – je důležité umět simulační modely abstrahovat podle zkoumaného problému. K vyhodnocení simulačních modelů je zapotřebí specifikovat hodnotící kritéria chování systémů a způsob jejich měření [55] [53].

Oba přístupy k analýze systému se využívají k ověřování funkčnosti modelů. Porovnává se shodnost výsledků získaných různými metodami.

Velkým přínosem je analýza stochastického chování výrobních systémů. Při užití lineárního programování se často používá zjednodušení ve formě opravných koeficientů na základě pravděpodobnosti. V rámci simulace jsou s využitím generátoru pseudonáhodných čísel generovány specifické stavy systému (poruchy, zpoždění, nekvalita apod.). Zpravidla bývá na výběr z několika možností spojitých pravděpodobnostních rozdělení (uniformované, normální, trojúhelníkové aj.) [56].

Simulace umožňuje také průběžně pozorovat chronologii a vazby jednotlivých diskrétních událostí v modelovaném procesu, a to v reálné zrychlené nebo ve zpomalené podobě. Díky dostupným obvyklým ukazatelům je možné realizovat vícekritériální posouzení systémů [57].

Nevýhodou jsou náklady spojené s nasazením simulace. Největší podíl projektových nákladů, až 80 %, tvoří mzdy a vzdělávání, zbývajících cca 20 % pak pronájem licence nebo nákup software a výpočetní techniky [57].

Personální náklady odrážejí i vysoké nároky na uživatele simulačních nástrojů a časovou náročnost při tvorbě modelu a při následném experimentování, a též sběr dat z reálného systému pro tyto činnosti.

## 5.1 Typické úlohy řešené počítačovou simulací

Sledování vytíženosti výrobních zdrojů a jejich kapacitní plánování je jen jednou z úloh, které lze pomocí počítačové simulace řešit. Počítačová simulace se dále nejčastěji využívá pro řešení úloh v následujících oblastech [58]:

- Rozvrhování produkce – řízení celopodnikových zdrojů, přidělování zakázek jednotlivým výrobním celkům, dílenské řízení výroby, testování strategií.
- Optimalizace logistických procesů – minimalizace průběžné doby výroby, redukce zásob a WIP, definice transportních a výrobních dávek, řízení zásob
- Projektování systémů – identifikace požadavků na kapacity výrobního zařízení, dimenzování skladů, analýza propustnosti systému, ladění řídicí logiky uzlových prvků při projektování inovačních změn stávajících výrobních systémů, zjištění požadavků na kapacity pro zajištění plynulosti výroby, návrh dispozičního uspořádání, „optimalizace“ uspořádání jednotlivých prvků celku, zkušební provoz.

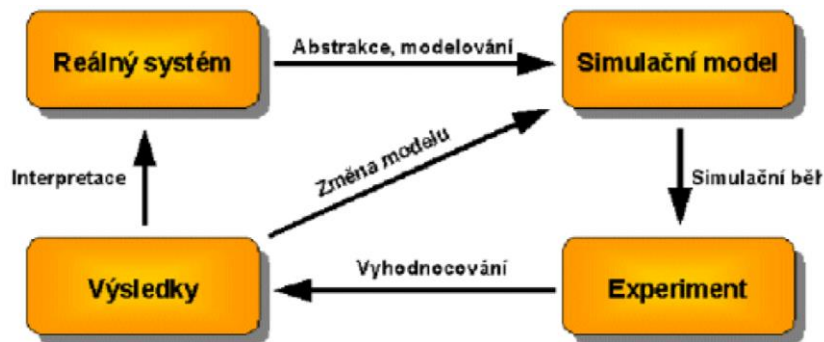


- Zlepšování výrobního toku – identifikace a zlepšování ÚM, logistických překážek a křížení toků, zpětná logistika.
- Vzdělávání pracovníků – představení výrobních strategií, objasnění systémových vazeb, „co když?“ analýzy, zaškolování nových pracovníků. Zde jsou využívány moduly VR[65].
- Služby – redukce čekání, teorie front [29].

## 5.2 Princip počítačové simulace výrobních systémů

Počítačová simulace je jediným dynamickým nástrojem pro analýzu výrobních linek pomocí experimentů, pokud nemůžeme pracovat s reálným pracovištěm [58].

Pomocí simulačních modelů se analyzují stavy systému v závislosti na čase (např. montážní operace, manipulace, poruchy apod.) Ve výrobním systému sledujeme jednotlivé diskrétní události, jejich vazby a vztahy (např. dokončení kusu, vygenerování požadavku na manipulaci, začátek seřízení, příchod operátora apod.). Cílem experimentování je poznání vztahů mezi faktory a parametry systému. Tyto znalosti nám následně pomohou při řízení reálného výrobního systému, aby se dosáhlo požadovaného stavu. Princip počítačové simulace je znázorněn na (Obr. 5-2).



Obr. 5-2 Princip počítačové simulace [59]

## 5.3 Simulační projekt

Prvním krokem je analýza a popis reálného systému, definování míry abstrakce podle požadavků na přesnost modelu či podle účelu modelování, získání hodnot faktorů a říditelných parametrů (definování prvků – uzlů systému a jejich vazeb – sběr dat a hodnocení náhodných veličin).

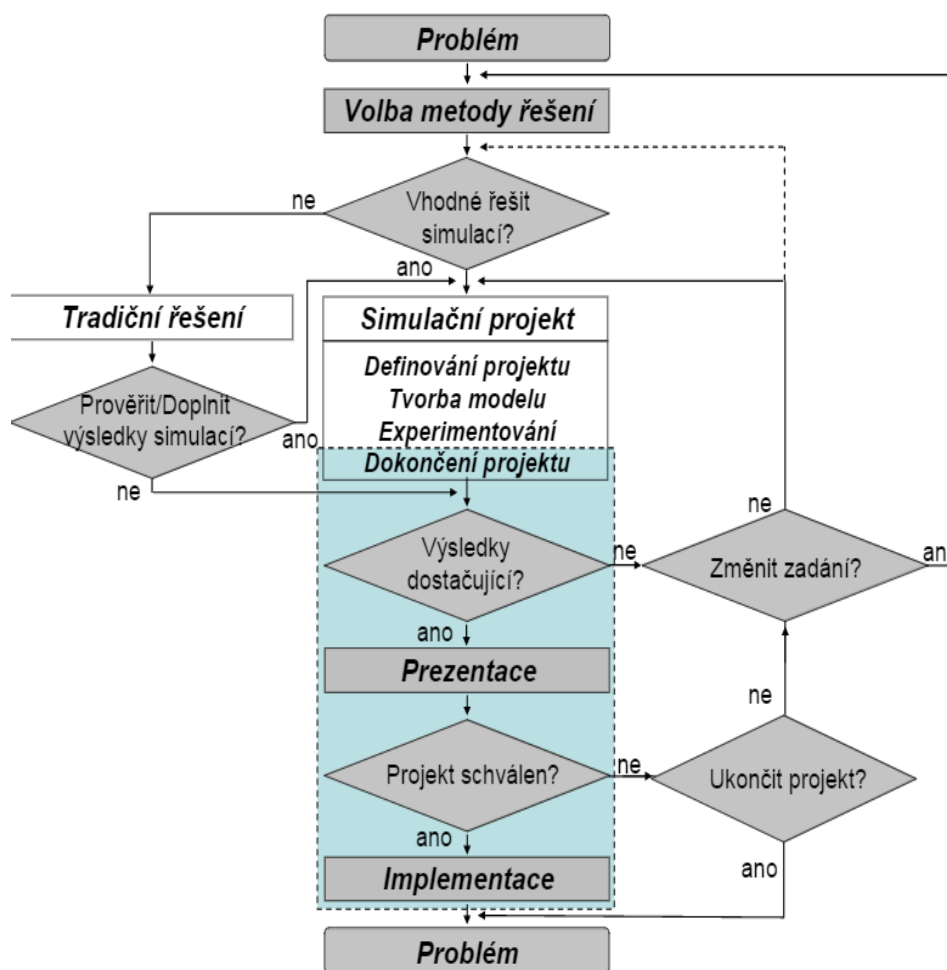
Druhým krokem je tvorba modelu, tedy tvorba souboru uzlových bodů a implementace logických algoritmů interpretujících jejich vazby.

Třetím krokem je experimentování s modelem. Jedná se o cílené změny hodnot simulačních parametrů modelu, tak aby byl splněn požadavek projektu. Přitom simulační čas může běžet mnohem rychleji než čas reálný, což význačně zkracuje časovou náročnost. Je tak možné vyhodnotit odezvu systému na celý soubor nastavení modelu.

Následuje analýza a interpretace výsledků simulačních experimentů. Simulační projekt je zadokumentován a na základě získané znalostní báze jsou v rámci řízení reálného systému realizována příslušná rozhodnutí a opatření [50].

Podrobnější schéma (Obr. 5-3)





Obr. 5-3 Schéma simulačních experimentů [57]

## 5.4 Softwarové produkty

V oblasti diskretní simulace výrobních systémů je k dispozici několik softwarů. Studie prezentované na konferencích se zpracovávají převážně v těchto nástrojích.

- Witness,
- Plant simulation,
- Qwest,
- Arena,
- Simcron,
- ShowFlow,
- ...

Přehled simulačních softwarů s uvedením jejich nejčastějšího využití je uveden v[60], specifikace tvorby modelů v[61], specifikace využívaných optimalizačních metod v[62] a[63].



## 5.5 Použitý simulační nástroj

Pro ověření vlastností strategií obsluhy linek jsme využili simulační nástroj WITNESS®. Jde o nástroj pro simulaci a optimalizaci výrobních, logistických a servisních systémů od společnosti Lanner Group Ltd.

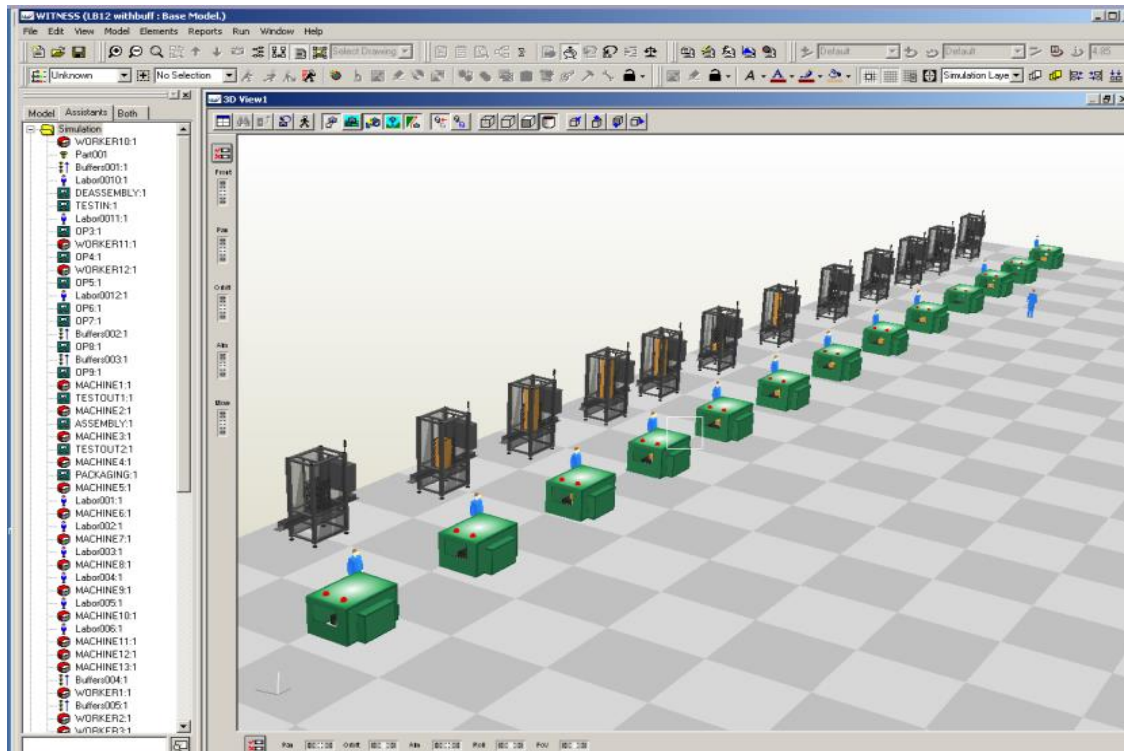
Nabízí také interaktivní simulaci systémů diskrétních událostí. Modely jsou postaveny na organizaci fyzických a logických elementů, v jehož rámci se odehrávají diskrétní události na časové ose.

Přestože Witness patří do skupiny „malých“ simulačních nástrojů (není součástí komplexnějších nástrojů „DF – digitální továrny např. oproti modulům Plant simulation a Qwest), je považován za jeden ze světově nejúspěšnějších programů pro simulování výrobních a logistických procesů. Používá se také pro podporu rozhodování vedoucích pracovníků při řešení organizačních, technických a provozních problémů, souvisejících zejména s restrukturalizací a se zlepšováním podnikových procesů [64].

Přínos produktu Witness spočívá:

- v možnosti zlepšit organizaci týmové práce pomocí prvků obsluhy,
- v sestavení a testování modelu po malých úsecích, které značně zjednodušují stavbu modelu a poskytují možnost identifikovat logické chyby a vytvořit model, který reálnou situaci popisuje spolehlivěji,
- v možnosti změnit model v průběhu simulace [65].
- Witness může být použit k analýze jakýchkoliv procesů, kdy je zapotřebí měřit dopad navržených změn a podloženě kvantifikovat alternativy řešení. Kromě možnosti vytvářet modely, které dobře odpovídají realitě, je velmi důležitá i interaktivní práce se studovaným modelem. Je tak možné provádět analýzy typu „what-if“. V libovolném čase můžeme simulaci zastavit, změnit parametry systému, například počet pracovníků na směně, obměnit výrobní mix nebo charakter pracovníků na další směně a poté v simulaci pokračovat. Důsledky takovýchto změn můžeme ihned sledovat.
- Witness nabízí řadu statistik pro jednotlivé typy objektů modelu. Tyto statistiky a pomocné proměnné je možné snadno resetovat po tzv. zahřátí modelu. Na začátku simulace je model tzv. prázdný – nezaplňený. To znamená, že na jednotlivých zařízeních není žádná rozpracovanost – rovněž mezioperační zásobníky polotovarů jsou prázdné – a že manipulační technika a další vybavení čekají na požadavky. Pokud je tento výchozí stav modelu nežádoucí a ovlivňoval by statistiky, provádí se zahřátí. Po dobu tzv. WarmUp time probíhá simulace, jejíž záznamy ve statistikách jsou po uplynutí onoho zahřívacího času smazány. V experimentální části této práce je WarmUp time = 100 simulačních jednotek, které odpovídají minutám.
- Konec simulačního oběhu je obvykle řízen pomocí simulačního času. Simuluje se například týdenní nebo 10denní produkce. Nebo je možné simulaci zastavit na základě definované diskrétní události. Následující experimenty budou ukončeny po vyrobení 500. kusu od vynulování statistik. Sledovanou účelovou funkcí bude totiž tzv. makespan (čas simulace bez WarmUp – viz kap. 6.4).

Další dobrou charakteristikou Witnessu je vizuální kontrola. Tento software umožňuje modelovat skutečný problém velmi podrobně. Má rozsáhlou knihovnu stavebních kamenů, které představují skutečný prvek – vizuální kontrola je pak velmi intuitivní a srozumitelná. Witness také nabízí trojrozměrnou modelovou simulaci (Obr. 5-4) představuje 3D model v prostředí softwaru Witness.



Obr. 5-4 Witness: Simulační modely linky v 3D modu

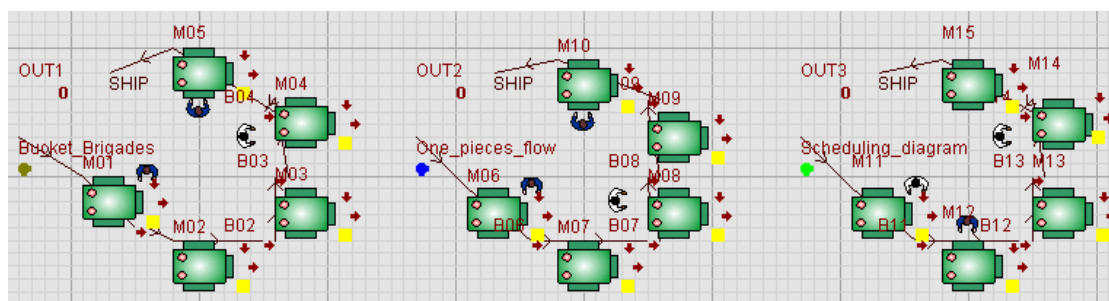
Přes velké výhody, které přináší počítačová simulace, software není náhradou za zkušenosti a je nutné mít zásadní povědomí o modelování procesů ve vztahu nejen ke správné interpretaci výsledků simulace [66].

## 6 SIMULACE – EXPERIMENTY

Cílem simulace bylo ověřit hypotézy o alternativních strategiích a pak porovnat vliv účinku jednotlivých faktorů v závislosti na uplatnění strategií, pokud jde o obsluhu linky. Snahou bylo zmapovat schopnost strategií vyrovnat se s různými faktory především lidského charakteru a také ve vztahu k nedokonalému vybalancování pracovních stanic.

Nejprve jsme vytvořili tři technicky totožné modely pro manuální experimentování (Obr. 6-1). Všechny tři modely využívají stejné výrobní kapacity: stroje, časové normy, počty pracovníků, výkonnostní matici znalostí jednotlivých pracovníků apod.

Zásadní rozdíl však byl v logice řízení pracovníků a materiálového toku. S ohledem na náročnost vytvoření a ověření logiky modelu jsme v první fázi provedli zjednodušení: s ohledem na vzdálenosti a časy přecházení jsme přecházení pracovníků zanedbali.



Obr. 6-1 Witness: Simulační modely – BB, RC, WZ

Tyto modely jsme prověřili z hlediska funkčnosti a správnosti práce ve vazbě na teorii jednotlivých strategií.

Pro řízené experimentování jsme řídicí logiku tří hlavních strategií integrovali do jediného komplexního modelu.

### 6.1 Řídicí logika modelu podle strategií

Řídicí logika uplatněná v simulačních modelech v prostředí Witnessu je založena na párování číselného označení pracovníka a číselného značení dílce.

Zápis v programu je pak následující:

**MATCH/CONDITION** (LA = ELEMENT:SN)

LA– označení pracovníka (labour attribute)

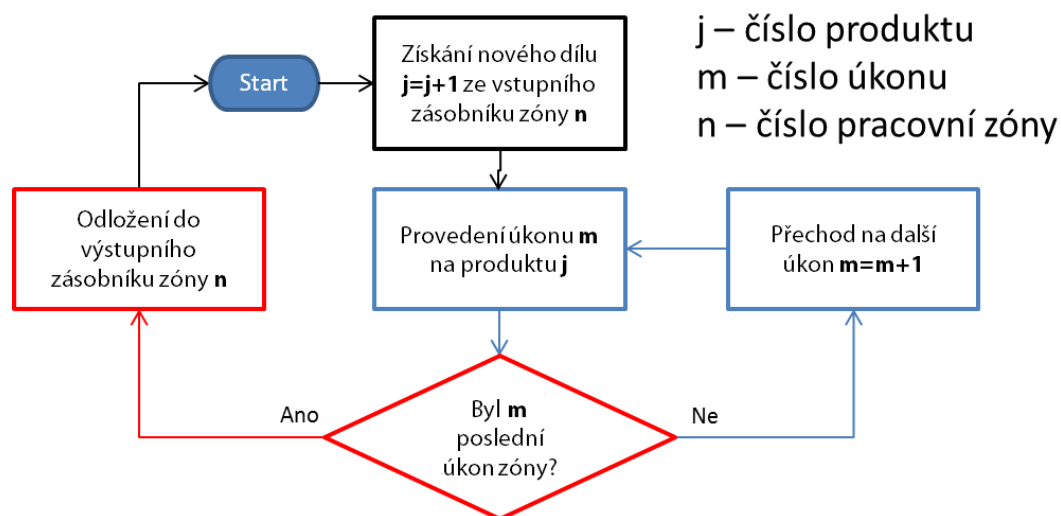
ELEMENT:SN - číslo aktuálního elementu (dílu)

Samotné přiřazování číselných atributů obsluhy a dílu je závislé na implementované strategii.

#### 6.1.1 Řídicí logika strategií WZ

V rámci strategie Work zones, lze algoritmus zjednodušeně popsat schématickým diagramem (Obr. 6-2): (LA = n, SN = n, kde LA je pořadové označení pracovníka a SN je přiřazováno na vstupu do pracovní zóny obsluhy).

Pracovník  $WZ_n$  je přiřazen k jednotlivým pracovním úkonům (stanicím)  $m_n$ , v rámci pracovní zóny  $n$ . V rámci zóny  $n$ , je pracovník vždy navázán na jím rozpracovaný produkt  $j_n$ , dokud zónu neopustí.



Obr. 6-2 Work zones – schématický diagram

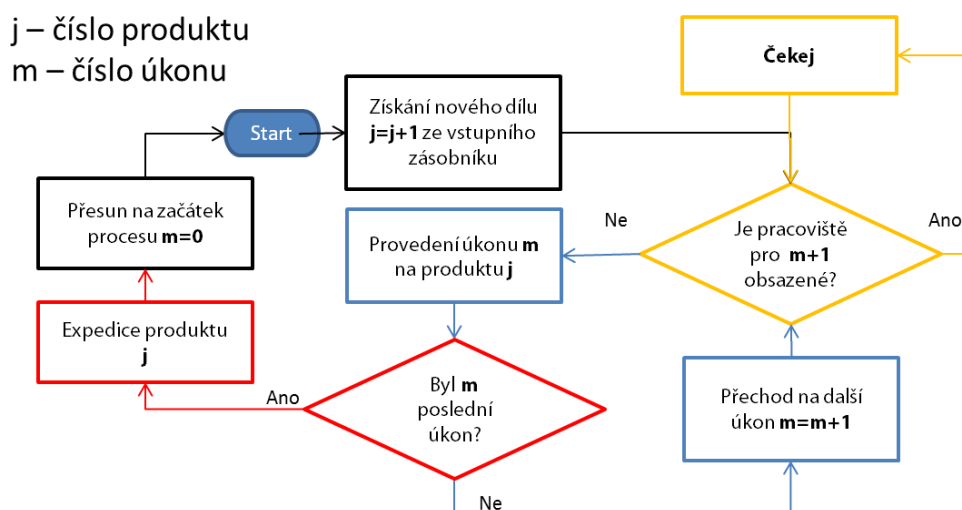
Když požadavek na zpracování produktu  $j = j + 1$  přijde na vstup zóny pracovníka  $WZ_n$ , je dílu přiřazeno číslo zóny  $n$ . Tím dojde k provázání pracovníka  $WZ_n$  a dílu  $j_n$ .

Po dokončení úkonu  $m$  přiřazeného pracovníkovi  $WZ_n$  obsluhujícímu zónu  $n$ , přechází pracovník s dílem  $j_n$  na pracovní stanici s úkonem  $m = m + 1$ .

Když je dokončen poslední úkon  $m_n$  přiřazený pracovníkovi  $WZ_n$  obsluhujícímu zónu  $n$ , je díl odložen na výstup zóny  $n$ , který tvoří vstupní stanice zóny  $n+1$ . Dílu  $j$  je přiřazeno označení pracovníka  $WZ_{n+1}$

### 6.1.2 Řídící logika strategií RC

Logika přiřazování obsluhy k úkonům v rámci strategie Rabbit chase je znázorněna ve schématickém diagramu (Obr. 6-3): ( $LA = SN = j$ , kde  $SN$  je jedinečné sériové číslo produktu a  $LA$  aktuálního pracovníka se vždy přiřazuje na konci linky po dokončení posledního úkonu).



Obr. 6-3 Rabbit Chase – schématický diagram

Pracovník  $RC_j$  je vždy přiřazen k úkonům  $m_j$ , které jsou nutné k dokončení produktu  $j$  na celé lince.

Když je dokončen poslední úkon  $m_j$  nutný pro dokončení produktu  $j$ , je díl odložen na výstup linky. Pracovníkovi  $RC_j$  je přiřazeno označení  $j = j + k$ , kde  $k$  je aktuální rozpracovanost. Pracovník následně přechází na vstup linky a zahajuje práci na novém dílu.

Po dokončení úkonu  $m$  přiřazeného pracovníkovi  $RC_j$  zpracovávajícímu díl  $j$ , přechází pracovník s dílem  $j$  na pracovní stanici s úkonem  $m = m + 1$ .

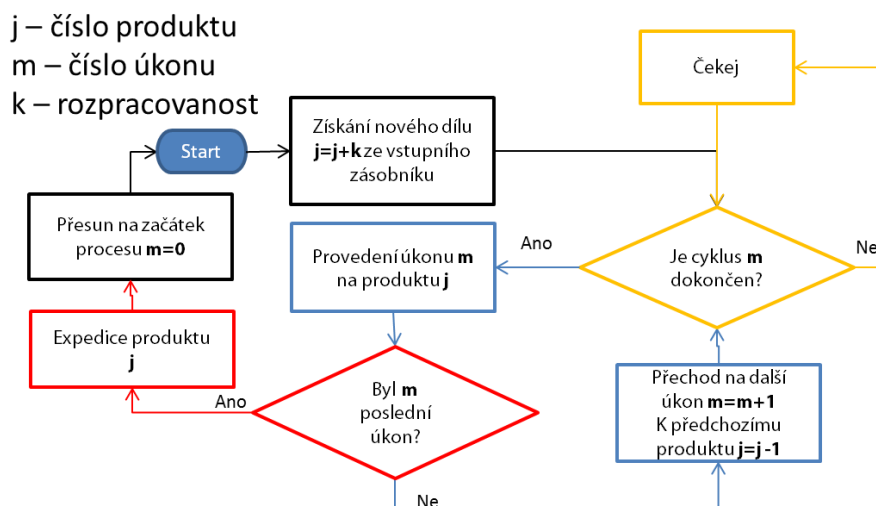
Je-li pracovní stanice  $m = m + 1$  obsazena pracovníkem  $RC_{j-1}$ , pak pracovní  $RC_j$  čeká na uvolnění této stanice na pracovišti  $m$ .

když je dokončen poslední úkon  $m$  nutný k dokončení produktu  $j$ , je díl odložen na výstup linky. Pracovník  $RC_j$  přechází na vstup linky.

Pozn. Jelikož je uplatňována filozofie OPF, hodnota  $WIP$   $k$  odpovídá aktuálnímu počtu zapojených pracovníků. Počet zapojených pracovníků je řídicí parametr experimentů, označovaný jako  $LQ$  (Labours quantity).

### 6.1.3 Řídicí logika strategií Chacku Chacku

Logika přiřazování obsluhy k úkonům v rámci strategie Chacku Chacku je velice podobná strategii Rabbit chase, liší se však tím, že po založení dílu  $j$  do vstupu zařízení provádějícího úkon  $m$  odebere pracovník díl  $j = j - 1$  z výstupu úkonu  $m$  a pokračuje jeho vložení do zařízení  $m = m + 1$ . Rozdíl je patrný z porovnání schématických diagramů (Obr. 6-3) a (Obr. 6-4).



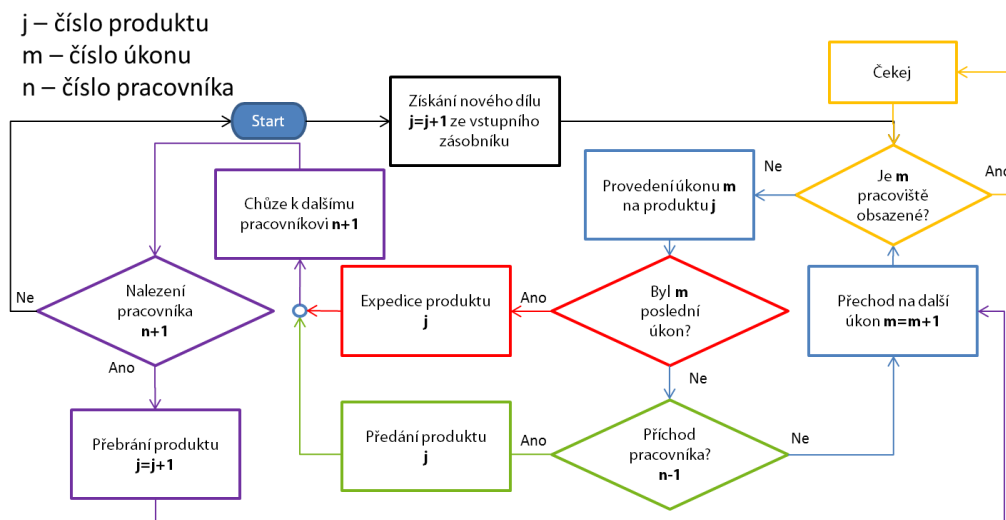
Obr. 6-4 Chacku Chacku – schématický diagram

Za předpokladu, že automatický chod zařízení je kratší než čas příchodu nějakého pracovníka v dalším cyklu, bude odezva na strategii Chacku Chacku obdobou strategie Rabbit chase.

Pokud by nebyl tento předpoklad splněn, bylo by nutné zvlášť modelovat činnosti s dílem  $j$  a zvlášť činnost s dílem  $j - 1$ , zvlášť automatický chod stroje. To by znamenalo významný nárůst složitosti modelu a dalších experimentů. Ale jelikož byla práce zaměřena na ruční linky, nebude strategie Chacku Chacku simulována.

### 6.1.4 Řídicí logika strategií BB

Přiřazování obsluhy k úkonům v rámci strategie Bucket brigades má řídicí logiku naznačenou ve schématickém diagramu (Obr. 6-5): ( $LA = SN = j$ , kde  $SN$  je jedinečné sériové číslo produktu a nové  $LA$  se přiřazuje (pozn. všem pracovníkům na konci linky po dokončení posledního úkonu,  $LA_i = LA_{i+1} + 1$ , kde  $i = 1..LQ$ ).



Obr. 6-5 Bucket Brigades – schématický diagram

Pracovník  $BB_j$  je vždy přiřazen k úkonům  $m_j$ , které jsou nutné k dokončení produktu  $j$ , dokud díl nepřevezme následující kolega.

Po dokončení úkonu  $m$  přiřazeného pracovníkovi  $BB_j$  zpracovávajícímu díl  $j$ , přechází pracovník s dílem  $j$  na pracovní stanici s úkonem  $m = m + 1$ .

Když je dokončen poslední úkon  $m_j$  nutný k dokončení produktu  $j$ , je díl odložen na výstup linky. Všem pracovníkům  $BB_j$  až  $BB_{j+LQ}$  je postupně přiřazeno označení  $LA = LA + 1$  ( $j = j + 1$ ), všichni pracovníci se tak po dokončení aktuální činnosti přesunou k následujícímu dílu  $SN = SN + 1$  ( $j = j + 1$ ). Poslední pracovník nejbližše vstupu linky zahájí práci na novém kusu.

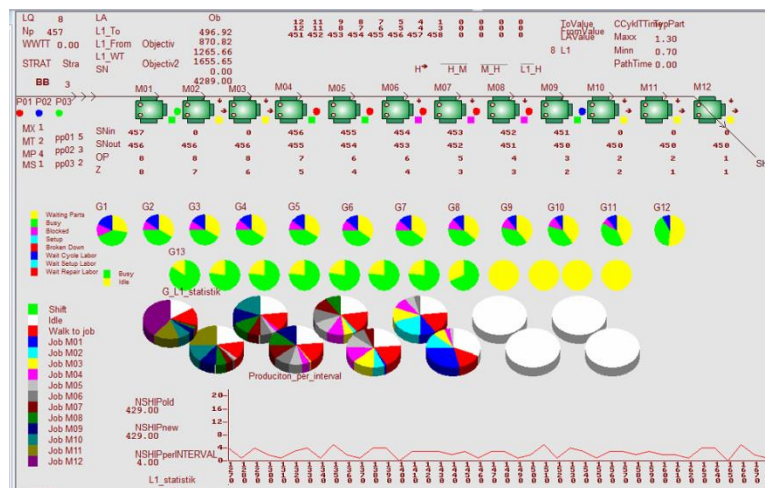
Je-li pracovní stanice  $m = m + 1$  obsazena pracovníkem  $BB_{j-1}$ , pak pracovník  $BB_j$  čeká na uvolnění této stanice na pracovišti  $m$ .

Když je dokončen poslední úkon  $m$  nutný k dokončení produktu  $j$ , je díl odložen na výstup linky. Pracovník  $BB_j$  přebírá díl  $j+1$  od svého kolegy  $BB_{j+1}$ . Obecně pak pracovník  $BB_i$  přebírá díl  $j = j + i + 1$  od svého kolegy  $BB_{i+1}$ . Pracovník  $BB_{LQ}$  zahájí práci na produktu  $j = j + LQ$ .



## 6.2 Simulační model pro řízení experimentování

Pro samotné řízení experimenty byl využit model připravený autorem práce v rámci praktické případové studie pro společnost Tetraco International s.r.o. zmíněnou v úvodní části práce, (Obr. 6-6). Tento model jsme dále rozšířili o datovou základnu v prostředí MS Excelu a pomocí řídicích parametrů jsme ji navázali přímo na simulační prostředí.



Obr. 6-6 Witness - Simulační model pro řízení experimentování

Model v prostředí Witnessu se skládá z 12 pracovních stanic sériově uspořádaných do výrobní linky. Na těchto stanicích je možné ručně zpracovávat jeden až tři produkty. Časová norma i náročnost zpracování jednotlivých typů produktů na jednotlivých pracovních stanicích v závislosti na aktuální obsluze stanice jsou definovány podle parametrů modelu odkazujících na datovou základnu modelu v MS Excelu.

Přičemž je možné simulovat jednoduktové linky (simple /single assembly line), ale i linky víceproduktové, a to jak v provedení dávkovém (Multi model assembly line), tak v lince zpracovávající výrobní mix tří produktů (Mixed model assembly line). Přitom činnosti přechodu mezi uvažovanými produkty se nikterak neliší od činnosti při zpracovávání těchto produktů jdoucích po sobě (při změně produktu není třeba linku přenastavovat). [35].

Výrobní stanice ručně obsluhují jednotliví pracovníci. Přiřazování pracovníků k jednotlivým úkolům je závislé na strategii uplatněné v rámci příslušného experimentu. Počet pracovníků i jejich charakteristiky, jako je např. zapracovanost a přesnost opakování činností, je možné volit pomocí parametrů simulačního modelu odkazujících na datovou základnu.

### 6.2.1 Části simulačního modelu

Samotný model lze rozčlenit na několik funkčních částí, podle jejich účelu:

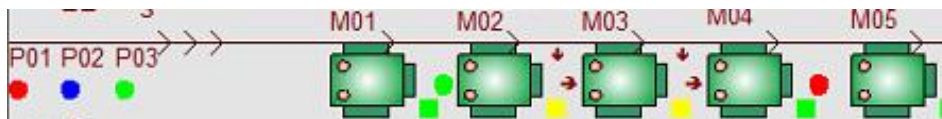
- **Modely 12 pracovních stanic** tvořené simulačním kamenem typu Machine (pracovní stanice) M01 až M12, (Obr. 6-7). V rámci dialogových oken akcí pracovních stanic byla naprogramována řídicí logika pro zpracování požadavků zákazníka a pro odvolávání dalších zdrojů.

To že jde o typ Machine, neznamená, že se jedná o strojní zařízení. Tento prvek zahrnuje také ruční pracovní místo, obecnou pracovní stanicí.

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
SNin	457	0	0	456	455	454	453	452	451	0	0	0
SNout	456	456	456	455	454	453	452	451	450	450	450	450
OP	8	8	8	7	6	6	5	4	3	2	2	1
Z	8	7	6	5	4	4	3	3	2	2	1	1

Obr. 6-7 Witness - Simulační model, pracovní stanice

- **Proměnné typu pole** (SNin, SNout, OP, Z ...) jsou paměťovou částí modelu uchovávající informace využívané v řídicí logice modelu jako návěští.
- **Prvky typu Part P01, P02, P03** tvoří vstupní zdroj materiálu do modelu, (Obr. 6-8) a jsou zpracovávány na pracovních stanicích M01 až M12. Některé parametry dílu jsou definovány pomocí atributů dílu. Patří sem především atribut sériového čísla SN (serial number).



Obr. 6-8 Witness - Simulační model, zpracovávané produkty

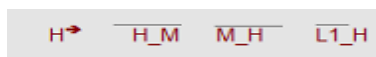
- **Prvek pracovního týmu L1** v rozsahu 1 až 12 pracovníků obsluhujících linku (Obr. 6-9). Ten je opět doplněn řídicími atributy pracovníka (LA, L1\_To, L1\_From, L1\_VVT...). Tyto atributy jsou zachytávány do proměnných typu pole (ToValue, FromValue, LAValue) opět využívaných v řídicí logice modelu.

12	11	9	8	7	5	4	1	0	0	0	0
12	11	8	7	6	5	4	3	0	0	0	0
451	452	453	454	455	456	457	458	0	0	0	0

ToValue  
FromValue  
L1Value  
8 L1

Obr. 6-9 Witness - Simulační model, obsluha stanic

- **Cesty pro přesun pracovníka** (Obr. 6-10) jsou realizovány zjednodušeným modelem a přechodovou maticí definovanou v datové základně (Obr. 6-11).



Obr. 6-10 Witness - Simulační model, virtuální síť cest

PM	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75
1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75
2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50
2.75	2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25

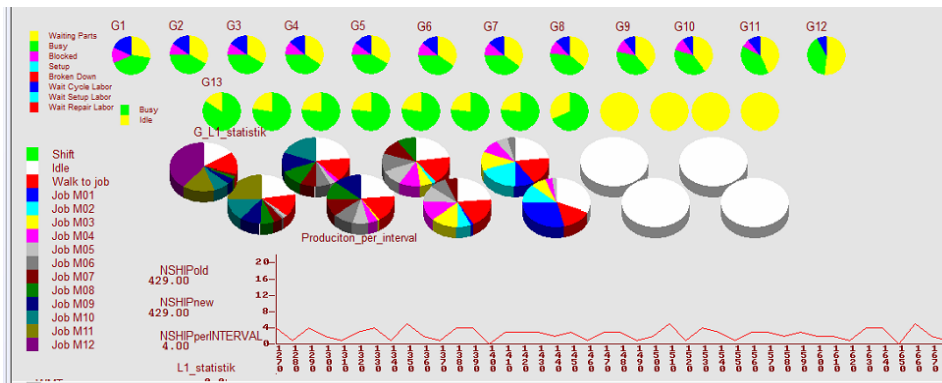
Obr. 6-11 Witness - Simulační model, matice časů přecházení

- **Skupina jednorozměrných proměnných** (Obr. 6-11) slouží k nastavení modelu v rámci jednotlivých experimentů. Patří sem simulační parametry LQ, Stra, MX, MT, MP, MS, WMT, NameFileXLS, které definují vybranou datovou základnu nebo slouží jako programová návěští v řídicí logice pracovních stanic

MX 1	WMT	LQ 8
MT 2 pp01 5	100	Np 457
MP 4 pp02 3	NameFileXLS	WWTT 0.00
MS 1 pp03 2	TeoricZ01	STRAT Stra
		BB 3

Obr. 6-12 Witness - Simulační model, parametry experimentů

- **Účelové funkce:** Objectiv, Objectiv2, NSHIPperInterval vypočítávají statistické hodnoty pro vyhodnocení experimentu.
- **Grafy vizualizující statistickou část modelu** (Obr. 6-13), pouze doplňují samotné statistiky, které jsou součástí základních stavebních prvků Witnessu (Obr. 6-14). Další statistiky zaznamenávají proměnné L1\_statistika, NSHIPold, NSHIPnew, Np.



Obr. 6-13 Witness - Simulační model, grafy využití času stanic a pracovníků

Name	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
% Idle	27.99	33.44	34.06	35.00	34.14	34.88	35.09	36.35	38.31	39.78	42.61	51.99
% Busy	39.55	40.14	39.71	39.99	39.95	40.20	39.78	40.49	40.32	40.18	40.15	40.15
% Filing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Emptying	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Blocked	14.20	11.37	11.02	11.19	11.26	11.16	11.45	11.18	10.89	10.37	7.07	0.00
% Cycle Wait	18.26	15.05	15.21	13.82	14.66	13.76	13.68	11.98	10.47	9.67	10.17	7.86
% Setup	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Setup Wai	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Broken Do	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% Repair Wa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No. Of Opera	428	429	429	430	429	429	430	429	429	429	429	429

Obr. 6-14 Witness - Simulační model, využití času stanic [%]

Další nestandardní statistiky jsou zaznamenávané do proměnných typu pole. Jde např. o statistiky zapojení jednotlivých pracovníků do jednotlivých úkonů, v rámci strategie BB. V (Obr. 6-15) je vidět procento využití jednotlivých pracovníků (viz sloupce) v rámci jednotlivých činností (viz řádky a legenda).

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Shift	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Idle	15.61	22.44	23.10	23.39	22.17	23.43	23.22	32.13	100.00	100.00	100.00	100.00
Walk to job	16.12	15.98	16.74	17.14	18.15	18.51	17.41	14.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	9.73	28.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	6.78	18.67	12.96	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M03	0.00	0.00	0.58	1.29	6.83	12.43	12.77	7.12	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M04	0.00	0.00	0.59	4.35	9.82	13.88	9.86	3.65	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M05	0.00	0.09	2.65	7.89	10.74	10.91	5.62	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M06	0.00	1.11	6.42	9.09	12.09	7.84	3.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M07	0.02	4.17	7.82	11.56	10.47	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M08	1.67	6.97	10.68	12.20	8.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M09	4.03	9.57	13.38	13.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M10	7.48	14.14	18.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M11	14.93	25.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Job M12	40.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Obr. 6-15 Witness - Simulační model, využití času pracovníka [%]

- **Další nestandardní proměnné k transformaci datové základny**, (Obr. 6-16), proměnné načítané z prostředí MS Excelu: P, Tac, PM, Maxx, Minn, PathTime a z nich dále vypočítávané proměnné PP a TT.



P	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PP	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Tac	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TT	2.17	0.98	1.38	1.02	1.26	1.10	1.18	1.16	1.46	1.25	1.18	0.99

Obr. 6-16 Witness - Simulační model, transformace datové základny

### 6.3 Datová základna

Datová základna je tvořena jak jinak než soustavou tabulek. Jednotlivé tabulky jsou odkazovány pomocí zmíněných řídicích parametrů experimentu.

Řídicí parametry:

LQ – definuje počet zapojených pracovníků(1 až 2),

Stra – uplatněná strategie (WZ, RC, BB),

MX – výkonnostní matice (odráží zapracovanost a výkon každého pracovníka)

Rozlišují se také podle obsazenosti linky (LQ),

MT – normy spotřeby času (podle úrovně CT a vybalancování linky),

MP – časy na přecházení pracovníků (podle layoutu linky a vzdálenosti),

MS – sekvence výrobních požadavků (singl, multi, mix a % zastoupení),

MO – úrovně opakovatelnosti ručních činností (bez / se stochastikou CT),

MR – počet replikací experimentů (počet opakování stejného nastavení),

ME – řízení experimentů (nastavení pro streamy náhodných čísel).

Řídicím parametrům experimentů je přiřazena soustava datových tabulek pro příslušná nastavení. **Tato soustava cca 70 tabulek pak tvoří datovou základnu pro experimentování s modelem.**

Základnu tvoří následující údaje:

- Tabulka řídicích parametrů experimentů.
- Tabulka určující složení produkce.
- Tabulka časových norem pro zpracování produktů na jednotlivých stanicích.
- Výkonnostní matice zapracovanosti jednotlivých pracovníků týmu na jednotlivých stanicích výrobní linky.
- Přejímovací matice s časy na přesun pracovníka mezi jednotlivými stanicemi.
- Rozvrhovací tabulka určená pro přiřazení pracovníků k pracovním zónám, a to pro strategii Work zone.
- Parametry nastavení úrovně opakovatelnosti lidské práce.

Obsah tabulek budeme diskutovat při popisu výsledků simulačních experimentů.



## 6.4 Metriky, ukazatele a parametry linek

Výše zmíněné hypotézy budou ověřovány experimentálně na simulačním modelu výrobních linek. Pro potvrzení nebo vyvrácení uvedených hypotéz je třeba definovat hodnotící funkce – ukazatele a proměnné – faktory a parametry a jejich úrovně. Upřednostňovány jsou ty měřitelné, vyjádřitelné číselnou hodnotou [67] [68].

Dále je třeba rozlišit ukazatele a proměnné

1. **Spojité** – fond spotřeby času, makespan, produktivit.

2. **Nespojité** (atributivní) – počet vyrobených kusů, počet pracovníků.

S ohledem na rozlišitelnost jednotlivých experimentů je tedy důležité zvážit využitelnost ukazatelů praxe, případně jejich „vědeckých“ alternativ.

Například můžeme sledovat **výkon linky** (atributivní) nebo tzv. **makespan** (spojitý)

**Objem odvedené práce – L**

L – počet vyrobených kusů [ks]

**Výrobní výkon linky – V**

Skutečný počet produktů vyrobených za časovou jednotku.

$$V = L/T \quad [\text{ks/hod.}] \quad (1)$$

L – počet vyrobených kusů

T – vztažný časový úsek (např. min., hod., směna apod.)

Pozn. Je důležité uvědomit si, že výrobní výkon je vypočten z atributivních dat. Jedná se o počty kusů. Nemůžeme např. vyrobit 10.17 ks za směnu, proto i výrobní výkon nabývá diskrétních hodnot.

**Makespan – M**

M – čas potřebný k dokončení výrobního požadavku [min]

Pozn. U makespanu můžeme hovořit o spojitě veličině, protože jde o čas.

**Fond spotřeby času pracovníků – Fn**

Spotřeba (čerpaní) z časového fondu pracovníků

$$F_n = M \cdot l \quad [\text{min.}] \quad (2)$$

M – makespan

l – počet využitých zdrojů (pracovníků)

**Kusová výrobní norma linky – N**

N – počet kusů, které se mají vyrobit za vztažný časový úsek při normálních podmínkách [ks/hod.]

**Časová výrobní norma linky – H**

H – předepsaný čas, jehož je zapotřebí k vyrobení jednotkového množství při normálních podmínkách [min./ks]



### Produktivita práce pracovníků – p

$$p = \frac{L}{F_n} \quad [\text{ks/min.}] [\text{ks/hod.}] \quad (3)$$

L – počet vyrobených kusů [ks]

F<sub>n</sub> = fond spotřeby času obsluhy [min.]

### Stupeň plnění normy pracovníka – α

α – vyjadřuje čistou produktivitu práce

$$\alpha = \frac{L \cdot N}{F_n} \quad [-] \quad (4)$$

L – počet vyrobených kusů [ks]

N – časová norma [min./ks]

F<sub>n</sub> - Fond spotřeby času obsluhy [min.]

### Aktuální počet pracovníků linky - l

l – počet pracovníků podílejících se na úkolech v rámci výrobní linky [osob]

### Max počet pracovníků linky – l<sub>max</sub>

l<sub>max</sub> – počet pracovníků linky navržený pro její maximální výkon za standardních podmínek. [osob]

### Stupeň obsazení linky – λ

Poměr skutečného počtu zapojených pracovníků k maximálnímu obsazení linky

$$\lambda = \frac{l}{m} [-] \quad (5)$$

l – počet pracovníků linky [-]

m – celkový počet pracovních stanic [-]

### Smoothness index

Ukazatel vybalancování linky v rámci řešení ALBP

$$SI = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (S_{max} - S_k)^2}{m}} \quad [\text{min.}^2] \quad (6)$$

S<sub>k</sub> – čas cyklu k-té stanice [min.]

S<sub>max</sub> – čas cyklu nejpomalejší stanice (úzkého místa) [min.]

m – celkový počet pracovních stanic [-]

### Linea efficiency\*

Ukazatel vybalancování linky v rámci řešení ALBP

$$EL^* = \frac{\sum_{k=1}^m S_k}{m \cdot S_{max}} [-] \quad (7)$$

S<sub>k</sub> – čas cyklu k-té stanice [min.]

S<sub>max</sub> – čas cyklu nejpomalejší stanice (úzkého místa) [min.]

m – celkový počet pracovních stanic [-]

## 7 VLASTNÍ VÝSLEDKY SIMULACE

Aby bylo možné zkoumat chování simulačních modelů, bylo provedeno několik rozsáhlých bloků simulačních experimentů.

Protože v rámci deterministického přístupu, který je obvykle uplatňován např. při kapacitních propočtech nebo při ALBP, je nutné provést řadu zjednodušení, bude také 1. blok experimentů vztažen k idealizovanému modelu.

První blok experimentu byl věnován ověření prvních tří nulových hypotéz, v rámci kterých bylo ověřeno, zda strategie BB a RC jsou alternativou ke strategii WZ a zároveň také k náhledu na shodu BB a RC.

Následující bloky simulačních experimentů se orientují na porovnání odezvy výrobního systému a na soubor faktorů působících v reálných systémech, a to při uplatnění strategií WZ, RC a BB. Simulační experimenty ideově vztáhneme k reálné studii procesů ve společnosti Tetraco.

### 7.1 První simulační blok

Cílem prvního simulačního bloku bylo potvrdit nebo vyvrátit nulové hypotézy o shodě produktivity strategií WZ, RC a BB při shodném obsazení obsluhou, resp. při spotřebě fondu pracovní doby pracovníků na vyrobení 500 ks.

**Důležitým předpokladem je problém zjednodušit na úroveň teoretických předpokladů pro vhodnost uplatnění strategie Work zones.**

Předpoklad:

1. Všechny pracovní stanice jsou dokonale vybalancovány, (Line efficiency = 100%, Smoothness index = 0),
2. Pracovní tým je plně homogení (plnění normy = 100 %),
3. Stochastika ruční práce je zanedbána (opakovatelnost = 100 %),
4. Přecházení pracovníků je zanedbáno (čas přesunu = 0 sec),
5. Obsazenost linky vždy zaručí rovnoměrné rozložení stanic do pracovních zón pro strategii WZ.

Tomuto bloku experimentů tedy odpovídá nastavení řídicích simulačních parametrů podle (Tab. 7-1).

Tab. 7-1 Simulační parametry – 1. Simulační blok

Simulační parametr		Hodnoty
Strategie	Stra	1,2,3
Počet pracovníků	LQ	1,2,3,...12
Matice časových norem	MT	1
Opakovatelnost ruční práce	MO	1
Matice zapracovanosti	MX	1
Přechodová matice	MP	1
Mix produkce	MS	1
Počet replikací	MR	10

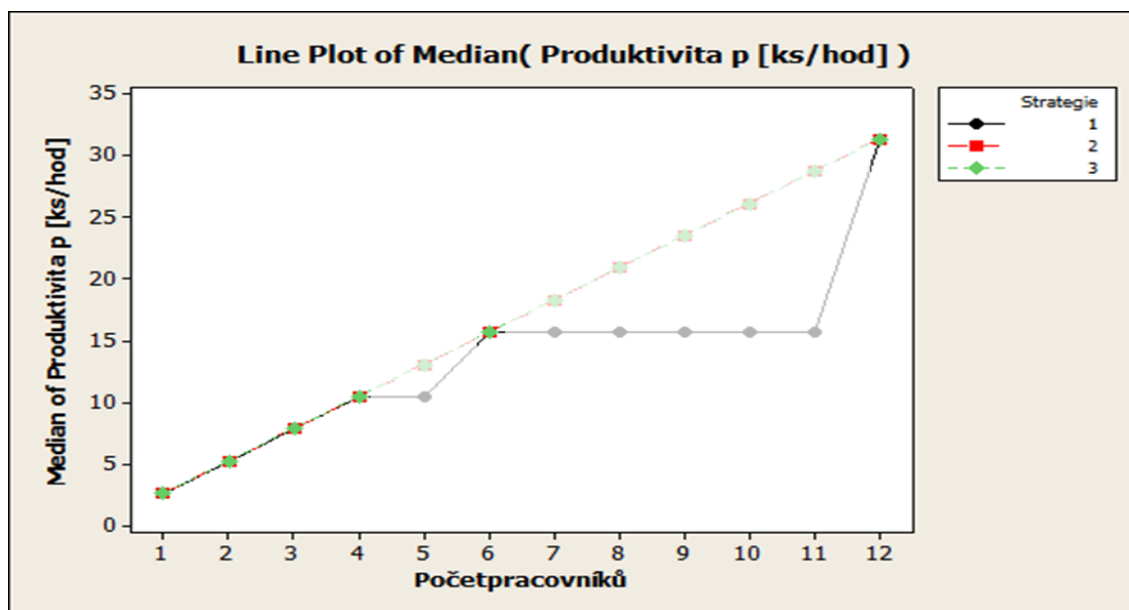


### 7.1.1 Hypotéza 1H<sub>0</sub>

Tato hypotéza zní: Strategie Rabbit chase č. 2 a Work zones č. 1, mají stejnou produktivitu (spotřebu fondu pracovní doby pracovníků na dokončení 500 ks), pokud budou splněny základní předpoklady, které již byly rekapitulovány.

**Opačná hypotéza 1H<sub>1</sub>** produktivita strategií RC a WZ se za uvedených podmínek liší.

Výsledky tohoto simulačního bloku zobrazuje graf produktivity (Graf 7-1) a graf spotřeby fondu pracovní doby (Graf 7-3).



Graf 7-1 Produktivita podle LQ - 1. blok exp.

V rámci ověřování hypotézy 1H<sub>0</sub> je nutné oprostít se od výsledků pro obsazenost linky 5, 7, 8, 9, 10 a 11 pracovníky, protože v těchto případech neplatí následující bod:

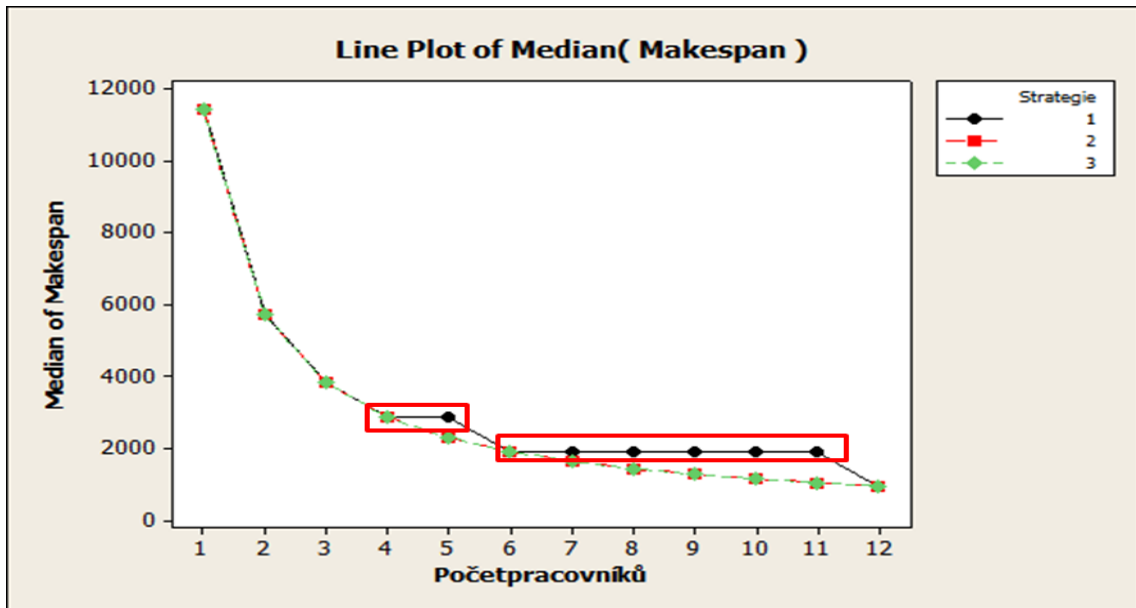
Obsazenost linky vždy zaručí rovnoměrné rozložení stanic do pracovních zón pro strategii WZ

V těchto případech nejsou všechny pracovní zóny vybalancovány, jak ukazuje (Tab. 7-2). V této tabulce jsou barevně odlišeny různé velikosti pracovních zón. Např. pro 7 pracovníků (řádek Pr7) platí, že pouze k 1. stanici (sloupec M01) byl přiřazen pracovník č. 7, ale pracovník č. 5 je už přiřazen ke stanicím M03 a M04.

Tab. 7-2 Nerovnoměrné přiřazení pracovníků do pracovních zón

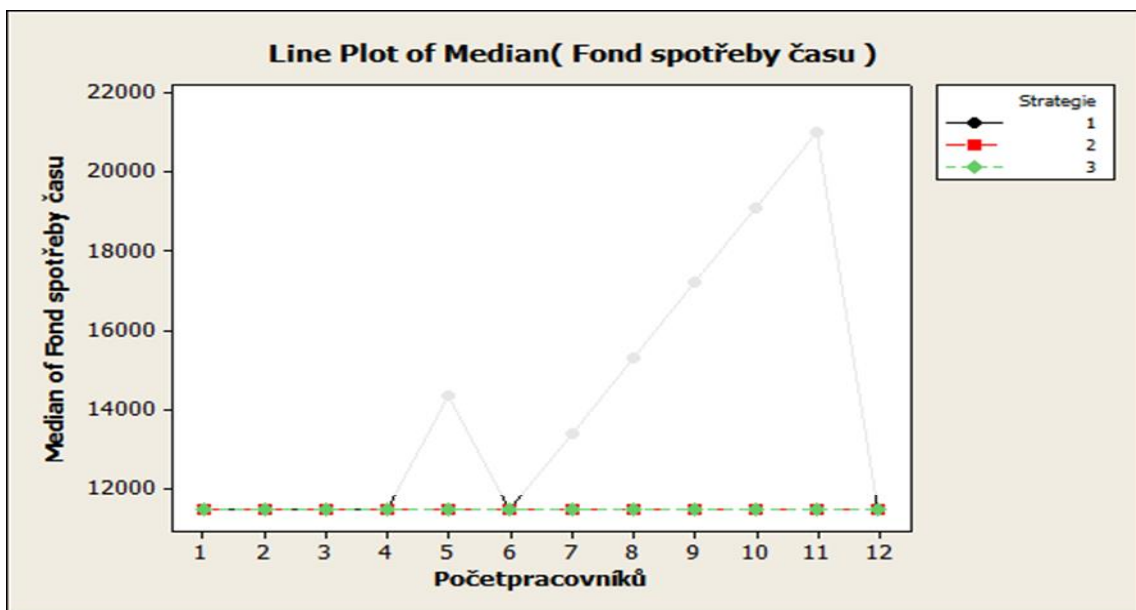
	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Pr5	5	5	4	4	3	3	2	2	2	1	1	1
Pr7	7	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
Pr8	8	7	6	5	4	4	3	3	2	2	1	1
Pr9	9	8	7	6	5	4	3	3	2	2	1	1
Pr10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	1	1
Pr11	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1

Důsledkem je právě stejný čas pro dokončení 500 ks = Makespan, odvozený od nejpomalejší pracovní zóny. Pro počet 6 až 11 pracovníků vždy alespoň jeden z nich obsluhuje dvě stanice, proto je dosaženo stejného Makespan pro strategii č. 1 WZ (Graf 7-2).



Graf 7-2 Makespan podle LQ – 1. blok exp.

Vraťme se však ke vztahu uvedených výsledků a k hypotéze  $1H_0$ . Pro obsazenost linky 1, 2, 3, 4, 6 a 12 pracovníky je fond spotřeby času pracovníků na výrobu 500 ks produktů totožný pro všechny sledované strategie. Proto je i produktivita závislá pouze na obsazení výrobní linky, nikoliv však na zvolené strategii.



Graf 7-3 Fond spotřeby podle LQ – 1. Blok exp.

Je tedy možné prohlásit, že za daných podmínek je hypotéza  $1H_0$  platná a že zamítáme opačnou hypotézu  $1H_1$ .

**Strategie RC je za daných podmínek alternativou ke strategii WZ.**

### 7.1.2 Hypotéza $2H_0$

Také o této hypotéze je možné rozhodnout na základě výsledku 1. bloku simulačních experimentů, neboť  $2H_0$  zní: Bucket brigades strategie č. 3 a Work zones č. 1, mají stejnou produktivitu při splnění stejných podmínek jako u hypotézy  $1H$ .

**Opačná hypotéza  $2H_1$**  produktivita strategií BB a WZ se za uvedených podmínek liší.

Také zde lze konstatovat: Pro obsazenost linky 1, 2, 3, 4, 6 a 12 pracovníky jsou pracovní zóny vyvážené (Tab. 7-3) a fond spotřeby času pracovníků na výrobu 500 ks produktů je totožný pro všechny sledované strategie. Proto i produktivita je závislá pouze na obsazení výrobní linky, nikoliv však na zvolené strategii. Potom je tedy hypotéza  $2H_0$ , za daných podmínek platná a opačnou hypotézu  $2H_1$  zamítáme.

**Strategie BB je za daných podmínek alternativou ke strategii WZ.**

Tab. 7-3 Rovnoměrné přiřazení pracovníků do pracovních zón

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Pr1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pr2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
Pr3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1
Pr4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1
Pr6	6	6	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
Pr12	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

### 7.1.3 Hypotéza $3H_0$

Strategie Bucket brigades a Rabbit chase, mají stejnou produktivitu i v případě, že poslední podmínka bude přeformulována. Tedy za následující podmínky:

Strategie se shodují pro jakoukoliv obsazenost obsluhou při splnění ostatních podmínek hypotézy  $1H_0$ .

**Opačná hypotéza  $3H_1$**  produktivita strategií BB a RC se za uvedené podmínky liší.

Tedy v rámci analýzy výsledku v souvislosti s touto hypotézou porovnáváme výsledky v (Graf 7-3) pro všechny možnosti obsazení linky 1 až 12 pracovníky. Přitom sledujeme strategii Rabbit chase – č. 2 (červená) a Bucket brigades – č. 3 (zelená).

Ve všech případech se fond spotřeby času obsluhy na výrobu 500 ks shoduje. Na strategii tedy za těchto podmínek nezáleží a hypotéza  $3H_0$  je platná.

**Závěry z hypotéz  $3H$  strategie BB a RC lze za zjednodušujících podmínek považovat za srovnatelné.**

### 7.1.4 Závěry z 1. simulačního bloku

Podle ověření hypotéz  $1H$ ,  $2H$  a  $3H$  lze strategie WZ, RC a BB považovat za vzájemně alternativní, v případě zjednodušeného přístupu (viz 1. simulační blok).

## 7.2 Druhý simulační blok

Tento simulační blok experimentů je zaměřen na ověření hypotézy  $4H_0$  a na následné porovnání odezvy výrobního systému při souboru faktorů působících v reálných systémech. Na základě porovnání výsledků pro různá nastavení úrovní řídicích simulačních parametrů usuzujeme na působení faktorů při uplatnění sledovaných strategií obsluhy linek.

Tomuto bloku experimentů tedy odpovídá nastavení řídicích simulačních parametrů (Tab. 7-1).

Tab. 7-4 Simulační parametry – 1. Simulační blok

Simulační parametr		Hodnoty
Strategie	Stra	1,2,3
Počet pracovníků	LQ	1,2,3,...12
Matice časových norem	MT	1-4
Opakovatelnost ruční práce	MO	1-2
Matice zapracovanosti	MX	1-4
Přechodová matice	MP	1-4
Sekvence produkce	MS	1-3
Počet replikací	MR	10
Stream experimentu	ME	1-1280

V rámci tohoto simulačního bloku jsme provedli 13 824 nastavení. Pro každé nastavení jsme s ohledem na požadované stochastické chování modelu provedli 10 opakování. Úplný experiment (full experiment je typu all combination) v rámci 2. bloku obsahoval 138 240 simulačních běhů. Při časové náročnosti 2 až 3 min. na simulační běh jsme na jeden full experiment spotřebovali 240 výpočetních dní.

Pozn.: Význam jednotlivých úrovní simulačních parametrů postupně objasníme v rámci komentáře k výsledkům v souvislosti s daným parametrem.

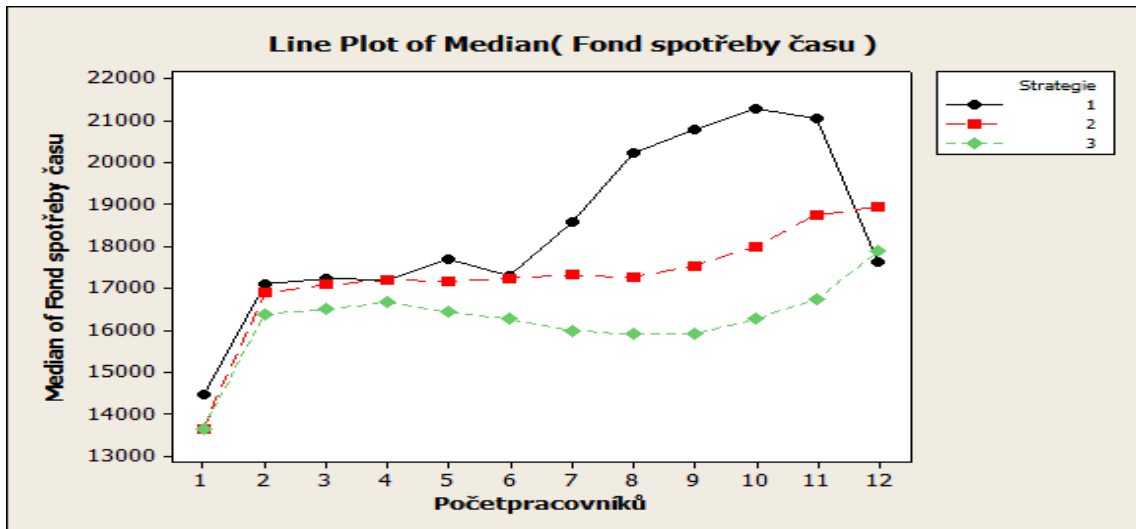
### Hypotéza $4H_0$

Byla vyslovena nulová hypotéza, že strategie Bucket brigades, Rabbit chase a Work zone mají stejnou produktivitu i v případě stochastických vlivů. Na zvolené strategii pak nezáleží.

Rychlý přehled výsledků 2. simulačního bloku jasně ukazuje, že fond spotřeby času, a tedy i produktivita linky se podle uplatněné strategie odlišují (Graf 7-4).

Opačná hypotéza  $4H_1$  zní: Produktivita strategií BB, RC a WZ se za uvedené podmínky liší. Na zvolené strategii tedy záleží.

Pro rychlejší orientaci je uveden ještě následující (Graf 7-4), zachycující fond spotřeby času v závislosti na obsazení linky pracovníky. Spojnice bodů sleduje trend podle strategie obsluhy. Strategie č. 1 je opět Work zone (černě), strategie č. 2 je Rabbit chase (červeně) a strategie č. 3 je Bucket brigades (zeleně).



Graf 7-4 Spotřeba času podle LQ – 2. blok exp.

Jednotlivé body pro příslušnou hodnotu LQ, se v rámci 2. bloku experimentů již nepřekrývají. Rozdíl mezi grafy (Graf 7-3) a (Graf 7-4) z 1. a 2. bloku simulačních experimentů lze jednoznačně přisoudit nově zohledněným faktorům.

#### Závěry z hypotéz 4H

Tvrzení, že strategie mají navzdory stochastickým vlivům identickou produktivitu podle LQ, respektive fond spotřeby času na vyrobení 500 ks je nepravdivé, proto nulovou hypotézu  $4H_0$  zamítáme.

Jako platnou je nutné označit opačnou hypotézu  $4H_1$ .

**Strategie BB, RC a BB nepovažujeme za srovnatelné. Je nutné porovnat vliv působení doplněných faktorů, které byl v rámci prvotního bloku experimentů zanedbán.**

### 7.3 Diskuse odezvy systému podle působících faktorů

Úkolem této disertační práce je nabídnout vodítko při výběru strategie obsluhy. Proto v této části budeme diskutovat dopady působících faktorů. Pozornost zaměříme na faktory, které bývají v rámci matematického modelování zanedbávány. Předpokládané dopady s ohledem na uplatněnou strategii byly naznačeny v kap. 3.6, doplňující základní informace o strategiích WZ, RC a BB.

Druhý blok simulačních experimentů byl sestaven tak, aby bylo možné ověřit odezvu systému při změně podmínek (působení zmíněných faktorů). Diskusi jsme provedli na základě interakcí především mezi strategií a příslušným faktorem.

Výstupy 2. bloku simulačních experimentů jsme stratifikovali podle úrovní řídicího parametru pro daný faktor a rozdělili jsme je do bloků podle strategie. Jako hlavní účelovou funkci jsme vybrali fond spotřeby času pracovního týmu ( $F_n$ ) potřebný ke zpracování 500 ks produktů. V rámci 500 ks jsou produkty zastoupeny takto: 50 % tvoří P01, 30 % tvoří P02 a zbylých 20 % je P03. Protože jde o stochastiku a výsledky výběrového souboru neodpovídají normálnímu rozdělení pravděpodobnosti, sledovali jsme medián účelové funkce.

#### 7.3.1 Změna taktu – počtu pracovníků

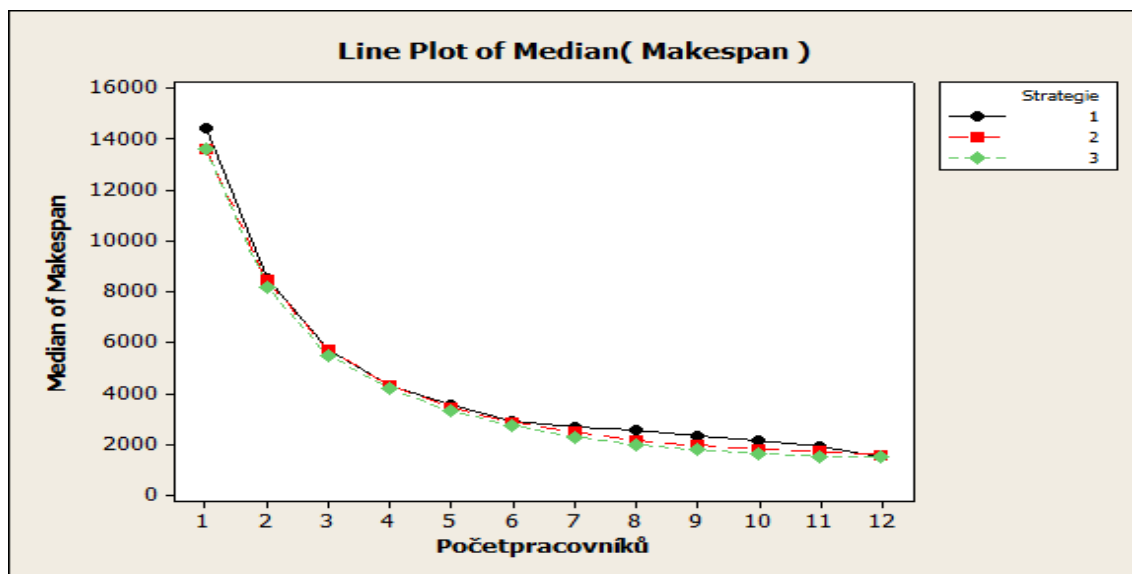
Podle očekávání faktor počtu pracovníků (LQ) zásadně ovlivňuje produktivitu ( $p$ ), a tedy takt linky. Proto je obsazenost linky určována zákaznickým taktům.

Výjimkou je strategie Work zone, u níž lze produktivitu ovlivnit spíše skokově. Pokud poměr pracovních stanic a pracovníků není celočíselný, dochází k neefektivitě (Graf 7-4). Strategie je tedy nejméně vhodná pro flexibilní linky JIT a JIS. Oproti tomu pokud je vždy vyžadováno plné vytížení a vždy je dost personálu, plné obsazení linky dosahuje nejlepších výsledků [15].

U strategie Rabbit chase dosahuje velice stabilních výsledků ve velkém rozsahu obsazení linky. To má pozitivní vliv na systém řízení a na odměňování pracovníků. Strategii RC lze také chápat jako poměrně univerzální z hlediska požadavků na flexibilitu produkce. S rostoucím počtem pracovníků však přece jen dochází k častějším interakcím a ke ztrátě efektivity. Při plném obsazení linky je však rozdíl proti alternativním strategiím už významnější. Ne však s ohledem na obsazenost, ale s ohledem na přemísťování pracovníků (o tom viz dále). Srovnáme-li výsledek strategií RC a BB a přihlédneme-li přitom k problematice zaškolování pracovníků v případě strategie RC, lze říci, že strategie RC najde lepší uplatnění spíše při nižším obsazení obsluhou.

Strategie BB má v porovnání se strategiemi WZ a RC nejlepší dosah na změnu počtu pracovníků. Zatímco propustnost systému, respektive čas dohotovení zakázky (Makespan) se příliš neliší, jak je možné pozorovat v (

Graf 7-5), proti tomu fond spotřeby času pracovního týmu, a tedy náklady spojené s obsluhou se liší již více (Graf 7-4). Podle (Graf 7-4) je patrné, že strategie BB dosahuje nejlepších výsledků, a to v celém rozsahu obsazenosti.



Graf 7-5 Makespan podle LQ – 2. blok exp.

Na základě diskuse o vlivu faktorů týkajících se obsazení linky jsme provedli hodnocení strategií v horní části (Tab. 8-30), která je součástí metodiky.

### 7.3.2 Osobní výkonnost pracovníků a pořadí pracovníků

Podle očekávání se úroveň zapracování operátorů v rámci jednotlivých strategií projevuje velmi odlišně (Graf 7-4),

Simulační experimenty byly stratifikovány podle parametru MX (1.4), který odkazuje na příslušnou matici zapracovanosti (ovlivňuje faktor výkonnosti pracovníka) a byly rozděleny do bloků podle strategie.

Matice zpracovanosti č. 1 reprezentuje rovnoměrné zpracování celého týmu v celém procesu, tak jak jsme ji použili také v prvním bloku experimentu. Konkrétně pro obsazení linky 7 pracovníky mají řádky pracovníků Pr1 až Pr7 hodnotu 100 %, zbylé řádky mají 0 % na všech stanicích sloupce M01 až M12 a matici vidíme v (Tab. 7-5).

Tab. 7-5 Matice zpracovanosti MX=1, LQ=7

LQ=7	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Pr1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr3	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr4	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr6	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr7	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr11	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr12	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

To, jak se mění matice zpracovanosti MX č. 1 v závislosti na obsazení LQ = 1..12 zachycuje (Tab. 7-6). Zvýrazněný sloupec LQ = 7 definuje (Tab. 7-5)

Tab. 7-6 Matice zpracovanosti MX=1, LQ=1..12

MX=1	LQ=12	LQ=11	LQ=10	LQ=9	LQ=8	LQ=7	LQ=6	LQ=5	LQ=4	LQ=3	LQ=2	LQ=1
Pr1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr2	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
Pr3	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
Pr4	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Pr5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%
Pr6	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr7	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr8	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr9	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr10	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr11	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr12	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Matice zpracovanosti č. 2 reprezentuje nerovnoměrné zpracování týmu. Výkonnost pracovníka je v celém procesu stejná, ale jednotliví pracovníci se liší. Nejméně zpracovaný pracovník (poslední) plní normu na 70 %, nejlepší (první) na 130 %. Průměrná zpracovanost je stále 100 %. Pořadí pracovníků je od nejlepšího k nejhoršímu. Rozložení výkonnosti pro 7 v rámci matice MX = 2 je v (Tab. 7-7).

Tab. 7-7 Matice zpracovanosti MX=2, LQ=7

LQ=7	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Pr1	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%
Pr2	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%
Pr3	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%
Pr4	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Pr5	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Pr6	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Pr7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr11	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr12	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Jak se mění matice zpracovanosti MX č. 2 v závislosti na obsazení LQ = 1..12 zachycuje (Tab. 7-8). Zvýrazněný sloupec LQ=7 definuje (Tab. 7-7).



Tab. 7-8 Matice zpracovanosti MX=2, LQ=1..12

MX=2	LQ=12	LQ=11	LQ=10	LQ=9	LQ=8	LQ=7	LQ=6	LQ=5	LQ=4	LQ=3	LQ=2	LQ=1
Pr1	130%	130%	130%	130%	130%	<b>130%</b>	130%	130%	130%	130%	130%	100%
Pr2	125%	125%	125%	125%	120%	<b>120%</b>	120%	120%	110%	100%	70%	
Pr3	120%	120%	120%	120%	110%	<b>110%</b>	110%	100%	90%	70%		
Pr4	110%	110%	110%	110%	105%	<b>100%</b>	90%	80%	70%			
Pr5	105%	105%	105%	100%	95%	<b>90%</b>	80%	70%				
Pr6	100%	100%	95%	90%	90%	<b>80%</b>	70%					
Pr7	100%	95%	90%	80%	80%	<b>70%</b>						
Pr8	95%	90%	80%	75%	70%							
Pr9	90%	80%	75%	70%								
Pr10	80%	75%	70%									
Pr11	75%	70%										
Pr12	70%											

Matice zpracovanosti č. 3 reprezentuje stejně zapracovaný tým jako u matice č. 2, ale pořadí pracovníků vstupujících do procesu je opačné. Nejméně zapracovaný pracovník (70 %) je první, nejlepší (130 %) je poslední.

Rozdíly mezi maticí zpracovanosti pracovníků č. 2 (MX=2) a maticí č. 3 (MX=3) můžeme porovnat prostřednictvím tabulek (Tab. 7-8) a (Tab. 7-9).

Tab. 7-9 Matice zpracovanosti MX=3, LQ=1..12

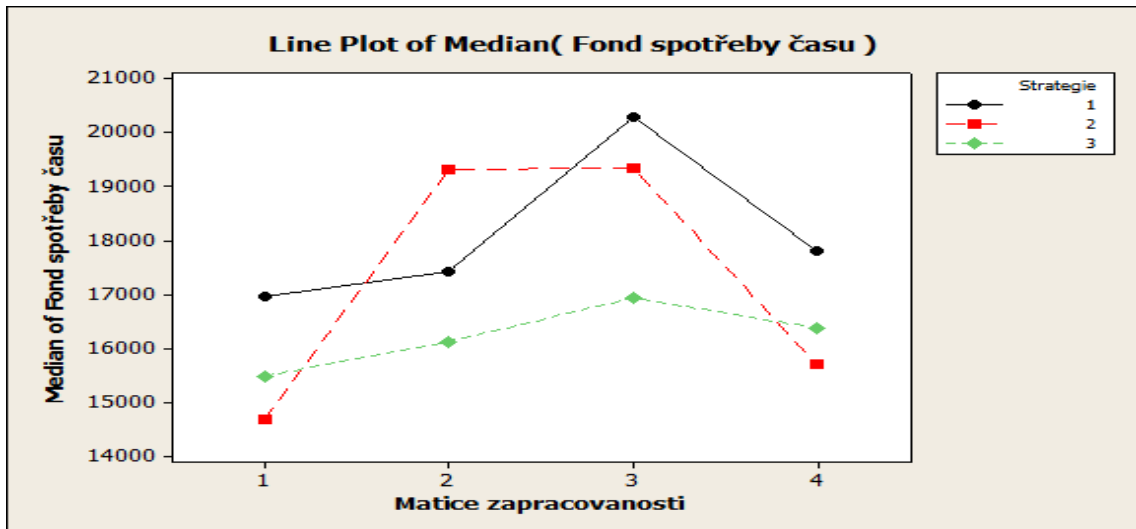
MX=3	LQ=12	LQ=11	LQ=10	LQ=9	LQ=8	LQ=7	LQ=6	LQ=5	LQ=4	LQ=3	LQ=2	LQ=1
Pr1	70%	70%	70%	70%	70%	<b>70%</b>	70%	70%	70%	70%	70%	100%
Pr2	75%	75%	75%	75%	80%	<b>80%</b>	80%	80%	90%	100%	130%	
Pr3	80%	80%	80%	80%	90%	<b>90%</b>	90%	100%	110%	130%		
Pr4	90%	90%	90%	90%	95%	<b>100%</b>	110%	120%	130%			
Pr5	95%	95%	95%	100%	105%	<b>110%</b>	120%	130%				
Pr6	100%	100%	105%	110%	110%	<b>120%</b>	130%					
Pr7	100%	105%	110%	120%	120%	<b>130%</b>						
Pr8	105%	110%	120%	125%	130%							
Pr9	110%	120%	125%	130%								
Pr10	120%	125%	130%									
Pr11	125%	130%										
Pr12	130%											

Matice zpracovanosti č. 4 reprezentuje nerovnoměrné zapracování týmu. Výkonnost pracovníka se už liší také podle stanice. Zapracovanost je generována v XLS mezi 70% a 130%. Vždy je dodržen průměrný výkon pro stanici ve výši 100 %. Ukázka rozložení výkonnosti pro 7 pracovníků v rámci matice MX= 4 je v (Tab. 7-10).

Tab. 7-10 Matice zpracovanosti MX=4, LQ=7

LQ=7	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Pr1	87%	114%	115%	82%	94%	88%	99%	99%	116%	90%	91%	133%
Pr2	130%	88%	118%	91%	74%	103%	118%	95%	85%	89%	117%	95%
Pr3	118%	101%	104%	78%	76%	132%	90%	120%	78%	107%	100%	97%
Pr4	76%	86%	74%	120%	125%	104%	74%	89%	110%	113%	84%	84%
Pr5	103%	84%	125%	113%	85%	79%	121%	104%	100%	118%	109%	124%
Pr6	74%	116%	84%	92%	121%	108%	85%	124%	87%	81%	87%	79%
Pr7	112%	112%	80%	124%	125%	87%	113%	69%	125%	102%	112%	89%
Pr8												
Pr9												
Pr10												
Pr11												
Pr12												
průmě	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Barevné spojnice (Graf 7-6) odkazují na medián fondu spotřeby času týmu. Spojnice č. 1 je opět strategie WZ (černá), spojnice č. 2 je strategie RC (červená) a spojnice č. 3 je strategie BB (zelená). Na ose x je úroveň řídicího parametru MX = (1..4).



Graf 7-6 Fond spotřeby podle matice zapracovanosti – 2. blok exp.

U strategie RC je patrný velký vliv pomalejšího pracovníka; to je patrné z velkého nárůstu spotřeby času pro matice zapracovanosti č. 2 a č. 3. V těchto případech ostatní pracovníci pronásledují nejpomalejšího pracovníka s výkonností 70 %. Proto na tuto úroveň poklesne výkonnost celého týmu. Pro matici č. 4 je každý pracovník někdy pomalejší, ale jinde zase „uteče“ ostatním; proto rozdíl mezi maticí č. 1 a maticí č. 4 není tak výrazný. U této strategie nezáleží na pořadí pracovníků, ale na nejslabším pracovníkovi. Není tedy vhodné doplňovat tým např. pracovníkem agenturním.

Strategie BB je založena na rozdílech mezi pracovníky a na jejich pořadí. Pro její dobré fungování je vhodné identifikovat výkonnost pracovníků a uspořádat je od nejrychlejšího (na výstupu linky) po nejpomalejšího (na vstupu linky), čemuž odpovídá matice č. 2. Pokud ale neznáme výkonnost členů týmu, pak i při opačném pořadí (nejhorší případ) dosahuje strategie lepších výsledků než ostatní. I v případě chaotické matice č. 4 se dosahuje dobrých výsledků, ale strategie RC je vhodnější.

U strategie WZ se projevilo obecné pravidlo platné pro sériové uspořádání prvků. V případě stochastického chování je vhodné, aby navazující prvky vždy disponovaly vyšším výkonem a byly schopné reagovat na výkyvy svých předchůdců. Tím lze vysvětlit rozdíl mezi výsledkem pro  $MX = 2$  a výsledkem pro  $MX = 3$ . Rychlejší pracovníci na pracovních zónách s vyšším číslem (přechodová matice č.2) lépe doženou zpoždění vzniklá interakcemi na hranicích pracovních zón. V případě matice č. 3 se postupně načítají zpoždění, která pomalejší pracovníci neodstraní. Strategie WZ je velmi senzitivní na zapracovanost i na pořadí pracovníků.

Pozn.: Proto se při strategii WZ noví pracovníci zapracovávají na první pracovní zóně, kde nejméně ovlivní propustnost systému. V případě nekvality pak nevážou zbytečné náklady na materiál ani na vykonanou práci. Případně jsou využívány zóny s nejkratším cyklem.

Na základě diskuse vlivu zapracovanosti pracovníků jsem zbylé hodnocení strategií provedli v (Tab. 8-30 Metodika – Flexibilita linky a obsluha), která je součástí metodiky.

Na základě vlivu zapracovanosti pracovníků bylo možné provést hodnocení strategií, bod „dynamické procesní časy“ v (Tab. 8-31 Metodika - Procesní časy), která je součástí metodiky.

K dynamickým změnám procesních časů dochází zejména v případě multiline. Při zpracovávání širokého sortimentu produktů v malých dávkách se pracovníci zapracovávají rychleji. Zatímco pracovník na konci linky zpracovává teprve 1. kus nové dávky a se zakázkou se teprve seznamuje, pracovník na vstupu linky se díky zpracování již několika kusů již zapracoval. Situace tak odpovídá již diskutované matici zapracovanosti č. 3. Tedy ačkoli u strategie BB dochází k ovlivnění produktivity zhoršením dynamiky na konci procesu, stále dosahuje nejlepších výsledků. Nejméně vhodná je strategie WZ.

Následně bylo možné provést hodnocení strategií také z hlediska počtu pracovních stanic a z hlediska délky linky (Tab. 8-32 Metodika – Délka taktu a vybalancování).

Při uplatnění strategie WZ a linek s větším počtem pracovišť bude produktivita více ovlivněna právě pořadím a zapracovaností pracovníků. To lze říci také v případě U-buněk s přecházením na druhou stranu, kde sice nacházíme více kombinací pro vybalancování pracovních zón, ale kde opět roste počet předávacích míst. Větší počet předávacích míst znamená větší počet interakcí a akumulaci zpoždění. Proto koordinace a řízení dlouhého procesu budou v případě strategie WZ velice náročné na operativní řízení. Budou kladeny požadavky na další systémová opatření, kontrolující časové konflikty stanic a využití jednotlivých operátorů.

Zvládnutí náročného, dlouhého procesu bude limitovat možnost použít strategii Rabbit chase. Lze předpokládat, že zapracování pracovníků v této strategii bude často vytvářet úzké místo (ÚM) typu „pracovník“. Takto vzniklé ÚM bude mít vliv na čas zapracování a na úroveň výkonnosti procesu, která poklesne.

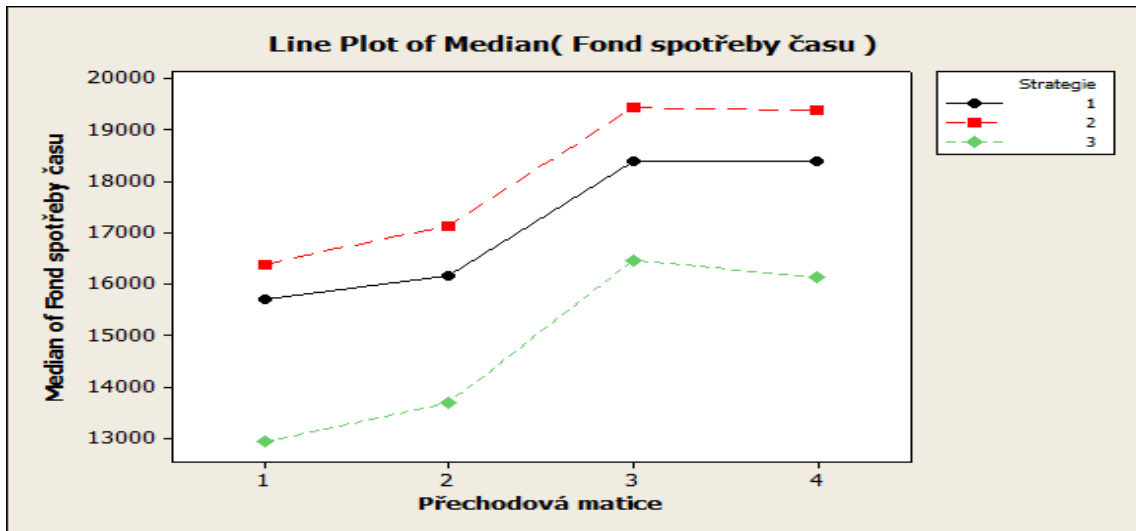
### 7.3.3 Přecházení mezi operacemi a vybalancování procesu

Vedlejší časy nutné při přecházení mezi operacemi jsou chápány jako hlavní a někdy i jediné kritérium pro volbu strategie. Většina řídicích pracovníků rozhoduje o zamítnutí strategie Rabbit chase právě na základě předpokladu, že vlivem přecházení mezi pracovišti dojde k velké ztrátě výkonu.

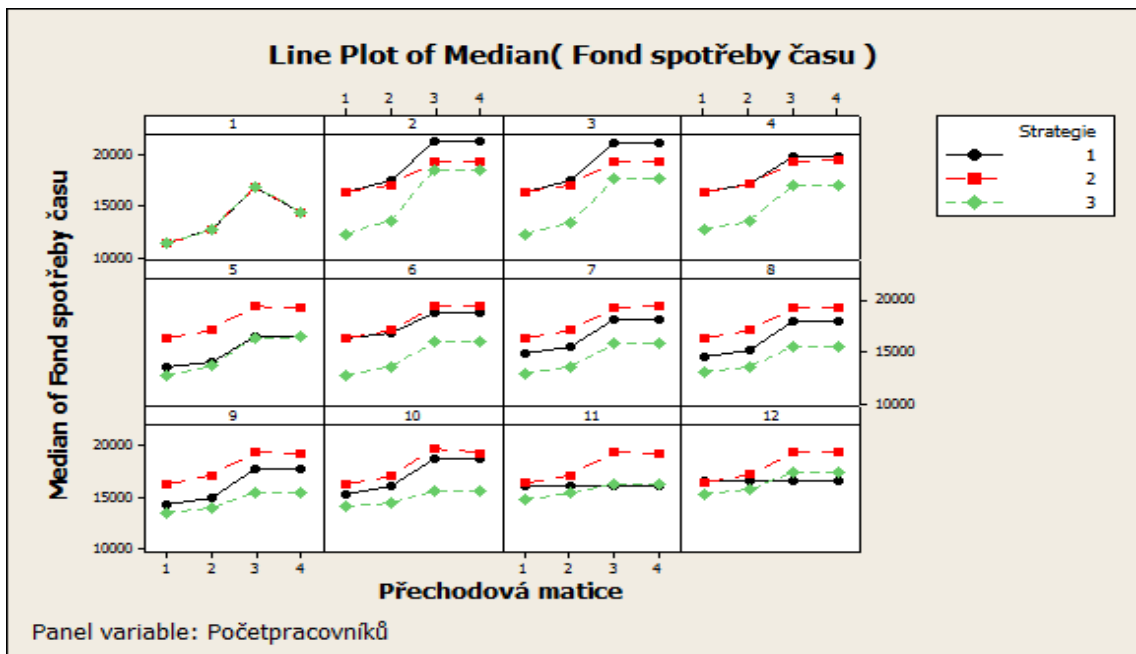
Podle výsledků v grafu (Graf 7-7) je však patrné, že vliv přecházení mezi stanicemi má podobný dosah u všech tří sledovaných strategií. Teprve až po rozdělení výsledku do 12 panelů podle obsazenosti linky (Graf 7-8), se odhalí detail o vlivu přecházení podle zvolené strategie obsluhy.

Simulační experimenty byly stratifikovány podle parametru MP (1..4), který odkazuje na příslušnou přechodovou matici (ovlivňuje vzdálenosti mezi stanicemi), a byly rozděleny do bloků podle strategie a podle počtu pracovníků.

Přechodová matice č. 1 reprezentuje zjednodušený případ, kdy je přecházení pracovníků zanedbáno (viz 1. blok experimentů).



Graf 7-7 Fond spotřeby času podle přečhodové matice – 2. blok exp



Graf 7-8 Fond spotřeby podle přečhodové matice/panely podle LQ – 2. blok exp.

Přečhodová matice č. 2 reprezentuje linku s layoutem do písmene I/L. Vzdálenosti mezi stanicemi jsou stejné. Vzdálenost odpovídá třem úrokům, kterým podle metodiky MTM-1 přísluší 102 TMU ( $3 \times SS-C2$ ). Čas přesunu pracovníka je tedy 0,06 min. Přečhodová matice č. 2 je uvedena v (Tab. 7-11). Podle této tabulky je odvozena časová náročnost na přemístění pracovníka; pracovník např. pro přesun od stanice M06 ke stanici M02 potřebuje čas 0,24 min.

Přečhodová matice č. 3 taktéž reprezentuje linku s layoutem do písmene I/L. Vzdálenosti mezi stanicemi jsou však větší. Čas přecházení je zvolen 0,25 min. Přečhodová matice č. 3 je uvedena v (Tab. 7-12).

Tab. 7-11 Přejchodová matice MP=2

MP=2	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
M01	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	0,66
M02	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	<b>0,24</b>	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60
M03	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54
M04	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48
M05	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42
M06	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36
M07	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30
M08	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24
M09	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12	0,18
M10	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06	0,12
M11	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06
M12	0,66	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,00

Tab. 7-12 Přejchodová matice MP=3

MP=3	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
M01	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
M02	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
M03	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
M04	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
M05	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
M06	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
M07	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
M08	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
M09	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75
M10	2,25	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50
M11	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25
M12	2,75	2,50	2,25	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00

Přejchodová matice č. 4 reprezentuje linku s layoutem do písmene O/U. Vzdálenosti mezi stanicemi odpovídají přejchodové matici č. 3. Čas přejcházení je 0,25 min. Přejchodová matice č. 4 je uvedena v (Tab. 7-13).

Zatímco u layoutu ve tvaru písmene I nebo L musí pracovník přejkonat mezi stanicemi M12 a M01 12 úseků, v případě layoutu ve tvaru písmene O nebo U je pro přesun mezi stanicemi M12 a M01 třeba přejkonat pouze jeden úsek.

Tab. 7-13 Přejchodová matice MP=4

MP=4	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
M01	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25
M02	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50
M03	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75
M04	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00
M05	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25
M06	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
M07	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
M08	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
M09	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50	0,75
M10	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,50
M11	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25
M12	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00

Pro porovnání gradientů růstu účelové funkce mezi jednotlivými nastaveními MP = 1, 2 a 3 pro jednotlivé strategie v grafu (Graf 7-7), lze konstatovat, že poměr času přejcházení pracovníků a taktem linky má různý dopad na efektivitu strategií.

Pokud je CT významně delší nežli čas přecházení, je dopad na efektivitu strategie WZ menší než u strategií ostatních. S nárůstem času přecházení, resp. při zkrácení časů jednotlivých cyklů roste vliv neefektivity především v případě strategie RC. To je patrné především při stupni obsazení  $\lambda \rightarrow 1$ .

Strategie RC je pro plné (vysoké) obsazení linky a pro krátké časy cyklů  $CT < 5$  s vysoce neefektivní. Strategie RC dosahuje nepatrně nižší efektivity než WZ v případě menší LE. Při nižší obsazenosti obsluhou se rozdíl mezi RC a BB s WZ stírají.

Zaměříme se nyní na stratifikovaný (Graf 7-8) s jednotlivými panely podle obsazenosti linky obsluhou. V prvním panelu se všechny strategie shodují. Pohyb jednoho pracovníka je vždy stejný.

Pro obsazenost  $LQ = 2$  a  $LQ = 3$  můžeme v 2. a 3. panelu pozorovat, že u strategie RC (červeně) je mezi přechodovými maticemi 1 a 2 (resp. 2 a 3) menší nárůst spotřeby času oproti strategiím WZ (černě) a BB (zeleně).

Při uplatnění strategie RC se pracovník vždy přemístí o jeden úsek k další stanici. Při nižším obsazení linky obsluhou je totiž návrat od konce pracovní zóny k jejímu začátku delší – časově náročnější. To platí jak o pevné pracovní zóně strategie WZ, tak o dynamické pracovní zóně strategie BB.

V případech, kdy je obsazenost linky v blízkosti stupně obsazení 0,5, přesouvají se pracovníci na vzdálenost jednoho úseku mezi dvěma stanicemi při uplatnění všech tří strategií.

Při stupni obsazení  $> 0,5$  dochází u strategií WZ a BB k utváření pracovních zón o velikosti jedné stanice. Pracovník přiřazený k takovéto pracovní zóně se již nepohybuje a strategie WZ a BB dosahují lepších výsledků než strategie RC.

Protože při uplatnění strategie BB mohou lépe využít svůj potenciál právě rychlejší pracovníci a obvykle obslouží větší úsek linky, jsou to oni, kdo přechází více. Proto má strategie BB pozvolnější nárůst spotřeby času mezi  $MP = 2$  a  $MP = 3$  pro  $0,5 < \lambda < 1$ .

Při stupni obsazení  $= 1$  se přecházení při uplatnění strategie WZ zcela zastaví, u strategie BB je tomu tak v případě nízké LE nebo při velké nehomogenitě týmu.

Pokud se nepodařilo linku dostatečně vybalancovat a vyskytují se úzká místa, stíhají rychlejší pracovníci obsluhující stanice s nižším cyklem obsloužit větší úsek linky. Proto můžeme pozorovat, že v poli 12 pro  $LQ = 12$  má strategie WZ (černě) vždy stejnou hodnotu účelové funkce pro  $MP = 1$  až 4. Při stupni obsazení linky  $\lambda \rightarrow 1$  nemají nejpomalejší pracovníci  $BB_{LQ}$  ( $BB_{LQ-1}$ ) kdy začít pracovat na novém produktu, jelikož stanice M01 zůstává neustále obsazena.

V případě, že linka má  $LE < 90\%$  a  $\lambda \rightarrow 1$ , dochází k čekání pracovníků.

- U strategie WZ čekají pracovníci u stanic s kratším CT.
- U strategií BB a RC čekají pracovníci před ÚM a rovněž dochází k uvolnění pracovníka před vstupem do linky.
- U strategie BB jde vždy o téhož pracovníka(y) a v některých případech se pracovník nezapojí vůbec.
- U strategie RC se pracovníci pravidelně střídají a odhalit možnost uvolnit jednoho pracovníka z týmu je obtížnější.

Pozn.: Pro snížení ergonomické zátěže může být někdy využit kumulativní faktor.



Na základě diskuse vlivu faktoru přecházení pracovníků bylo provedeno hodnocení strategií v tabulce (Tab. 8-33 Metodika – Layout linky a Tab. 8-32 Metodika – Délka taktu a vybalancování), které jsou součástí metodiky.

### 7.3.4 Časová náročnost operace a specifikace produkce

Časy cyklů na pracovních stanicích se vždy více či méně odlišují, což potvrzuje také TOC. Jen ve výjimečných případech jsou uváděny stejné časy cyklů stanic. Zpravidla jde o výsledek nucené „synchronizace“, docílený čekáním nebo zpomalením některých činností na úroveň úzkého místa. Na vliv rozdílů v časové náročnosti ve vztahu ke sledovaným strategiím poukazují výsledky v grafu (Graf 7-9)

Simulační experimenty jsme stratifikovali podle parametru MT (1..4), který odkazuje na příslušnou matici norem spotřeby času. Výsledky jsme rozdělili do bloků podle strategie.

Matice norem spotřeby času č. 1 reprezentuje idealizovanou dokonale vybalancovanou linku, tedy časy všech operací v celém procesu, a pro všechny modely je stejná, tak jak byla použita v prvním bloku experimentů. Konkrétně jsme zvolili časovou normu 1.91 min. (simulační jednotky), aby se zachovala možnost následného srovnání. Matici pro tři produkty P01, P02 a P03 vidíme v (Tab. 7-14).

Tab. 7-14 Matice norem spotřeby času MT = 1

MT=1	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
P02	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
P03	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91

Matice norem spotřeby času č. 2 reprezentuje také idealizovanou vybalancovanou linku, kde časy všech operací v celém procesu jsou stejné, ale liší se podle modelu. Vážený průměr normy spotřeby přes všechny modely je 1.91 min., aby byla zachována možnost srovnání. Matici pro tři produkty P01, P02 a P03 vidíme v (Tab. 7-15).

Tab. 7-15 Matice norem spotřeby času MT = 2

MT=2	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
P02	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
P03	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30

Matice norem spotřeby času č. 3 reprezentuje teoretickou linku, kde je uprostřed linky modelované ÚM, které má dvojnásobný čas nejkratšího cyklu pro každý model. Průměrná norma spotřeby času přes všechny stanice podle modelu je stejná jako pro MT = 2. Celkový vážený průměr normy spotřeby času pro všechny modely je opět 1.91 min., aby se zachovala možnost srovnání. Matici pro tři produkty P01, P02 a P03 vidíme v (Tab. 7-16).

Tab. 7-16 Matice norem spotřeby času MT = 3

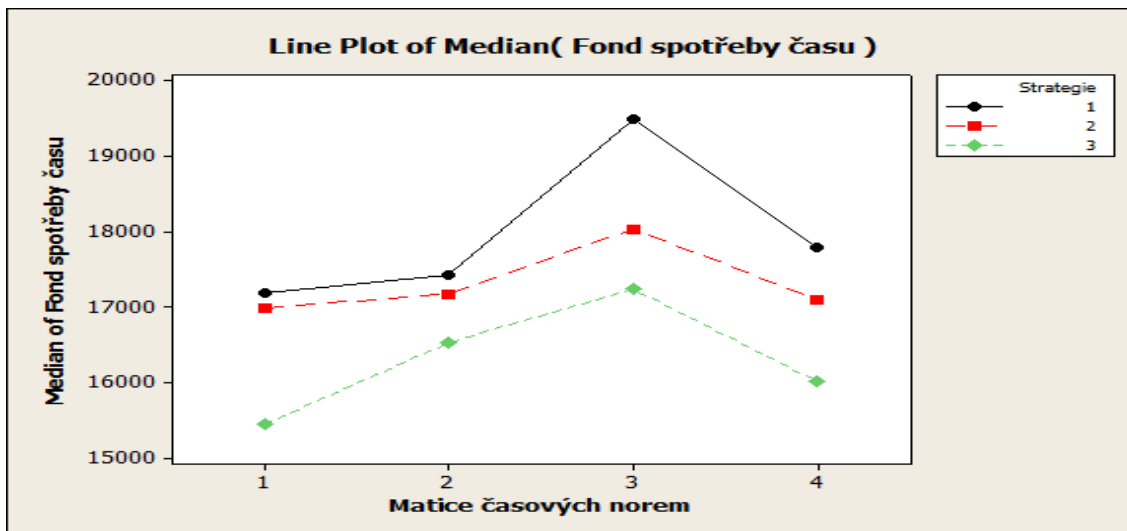
MT=3	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	1,36	1,36	1,36	1,70	2,38	2,72	2,38	1,70	1,36	1,36	1,36	1,36
P02	1,60	1,60	1,60	2,00	2,80	3,20	2,80	2,00	1,60	1,60	1,60	1,60
P03	1,84	1,84	1,84	2,30	3,22	3,68	3,22	2,30	1,84	1,84	1,84	1,84

Matice norem spotřeby času č. 4 reprezentuje teoretickou linku, kde jsou jednotlivé normy spotřeby času náhodné, s omezující podmínkou, aby celková vážená průměrná norma spotřeby času pro všechny modely byla opět 1.91 min a zároveň aby celkový rozptyl časových norem byl shodný s případem MT = 2, aby byla zachována možnost srovnání. Matici pro tři produkty P01, P02 a P03 vidíme v (Tab. 7-17)



Tab. 7-17 Matice norem spotřeby času MT = 4

MT=4	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	2,31	1,84	2,32	2,16	1,69	1,76	2,35	1,45	2,35	1,44	2,09	2,42
P02	1,82	1,69	1,98	1,68	1,68	1,82	1,97	1,42	1,77	2,05	2,30	2,10
P03	1,34	1,93	2,10	1,44	1,83	1,67	1,86	1,60	2,09	1,94	1,60	1,34



Graf 7-9 Fond spotřeby podle matice norem spotřeby času MT – 2. blok exp.

Přechod z **matice norem spotřeby času č. 1 k matici č. 2** poukazuje na vliv produktového mixu na propustnost systému.

U strategií RC a WZ je patrný stejný nárůst účelové funkce, což je způsobeno zvýšenou časovou náročností produktu P03, který se na celkové produkci podílí 20 %.

U strategie BB má však skok účelové funkce mezi MT = 1 a MT = 2 výrazně větší gradient. To je důsledkem omezené efektivity dynamického balancování při rychlých změnách časové náročnosti, pokud jde o zpracování produkce na „konkurenčních“ pracovních stanicích. Přesto strategie BB stále dosahuje nejlepších výsledků.

Přechod z **matice norem spotřeby času č. 2 k matici č. 3** poukazuje na vliv společného úzkého místa typu „stanice“ na propustnost systému.

Strategie WZ je nejvíce citlivá na nevyváženost systému. Rozdíly v náročnosti práce na jednotlivých stanicích se výrazně projevují v poklesu produktivity.

Strategie RC velice dobře eliminuje vliv úzkého místa při nižším obsazení linky obsluhou.

Rovněž strategie BB dokáže velice dobře snížit dopad úzkého místa na efektivitu procesu a i zde platí, že lepšího efektu dosahuje při menším stupni obsazení linky.

V případě víceproduktových, tzv. dávkových linek (multiline) se nemusí jednat o společné úzké místo přes všechny modely. Ale uvedená tvrzení platí i o zpracování jednoho modelu ve výrobní dávce, kdy nedochází k vzájemnému ovlivňování mezi modely (oproti výrobnímu mixu).

Rozdíl mezi výsledky **matice norem spotřeby času č. 2 a matice č. 4** poukazuje na vliv plovoucího úzkého místa typu „stanice“ na propustnost systému.

Jde o výrobní mix, který se liší časovou náročností mezi modely na některých stanicích. To je typické například pro společnou výrobu produktů s různým stupněm

vybavení. V takových případech jsou některé operační úseky vynechávány a jiné naopak přidány. Tím vznikají tzv. plovoucí úzká místa.

Výsledky v (Graf 7-9) poukazují na to, že strategie RC má identickou odezvu účelové funkce na plovoucí úzká místa, tak na výrobní mix s rozdílnou náročností (při splnění omezujících podmínek, pokud jde o rovnost průměru a o rozptyl časových norem).

Strategie WZ je negativně senzitivní k plovoucím ÚM. Dochází zde k největšímu nárůstu ztráty efektivity.

Nejlépe plovoucím ÚM vzdorují linky, na nichž je uplatněna strategie BB.

Na základě této diskuse o vlivu ÚM, o vybalancování procesů, o výrobním mixu nebo o výrobních dávkách jsme v (Tab. 8-32 Metodika – Délka taktu a vybalancování), provedli hodnocení strategií, které jsou součástí metodiky.

### 7.3.5 Opakovatelnost činnosti

Ani zde se nenaplnila očekávání o vlivu tohoto faktoru na hodnotu účelové funkce při uplatnění jednotlivých strategií. Předpoklad, že nejlépe se na stochastiku ruční práce adaptuje strategie BB, byl mylný, jak ukazují výsledky simulace v (Graf 7-11)

Simulační experimenty byly stratifikovány podle parametru MO (1 a 2), který odkazuje na příslušnou větev algoritmu výpočtu času cyklu. Výsledky byly opět rozděleny do bloků podle strategie.

V procedurách simulačního modelu je hodnota spotřeby času vypočtena na základě údajů z datové základny (v závislosti na typu dílce – TypPart) aktuálním pracovníkem (l) a konkrétní pracovní stanicí (m) a nastavení parametrů experimentu (MO).

V případě parametru MO = 1 je zajištěna 100% opakovatelnost činnosti. Čas činnosti **CT** je konstantní a odpovídá aktuálnímu přiřazení hodnoty **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub>

- **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub>. Čas cyklu je přiřazen na základě normy spotřeby času Tac<sub>(TypPart,m)</sub> a na základě produktivity pracovníka PP<sub>(l,m)</sub>.
- **Tac**<sub>(TypPart,m)</sub>. Norma spotřeby času je definována pro aktuální produkt TypPart na příslušné stanici m.
- **PP**<sub>(l,m)</sub>. Produktivita pracovníka je funkcí aktuálního pracovníka l a aktuální stanice m,

V případě parametru MO = 2 je čas činnosti **CT** stochastický.

V rámci experimentování bylo pro MO = 2 využito symetrické trojúhelníkové rozdělení, doporučené dodavatelem softwaru Triangle (min., střed, max.).

**CT** = **Triangle** (**CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub> \*minn, **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub>, **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub> \*Maxx)

Kde **Střed** = **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub> = střední čas cyklu

**Minn** = spodní hodnota 70% = 0,7

**Maxx** = horní hodnota 130% = 1,3

Obě hodnoty (spodní a horní) odpovídají intervalu spolehlivosti 95% a vycházejí z případové studie pro společnost Tetraco International s.r.o.

V procedurách simulačního modelu je hodnota spotřeby času zapsána takto:

$CycleTime_{(Tac,PP)} = Tac(TypPart, m) / PP(l, m)$

IF MO = 2

$CT = Triangle (CycleTime_{(Tac,PP)} * minn, CycleTime_{(Tac,PP)}, CycleTime_{(Tac,PP)} * Maxx)$

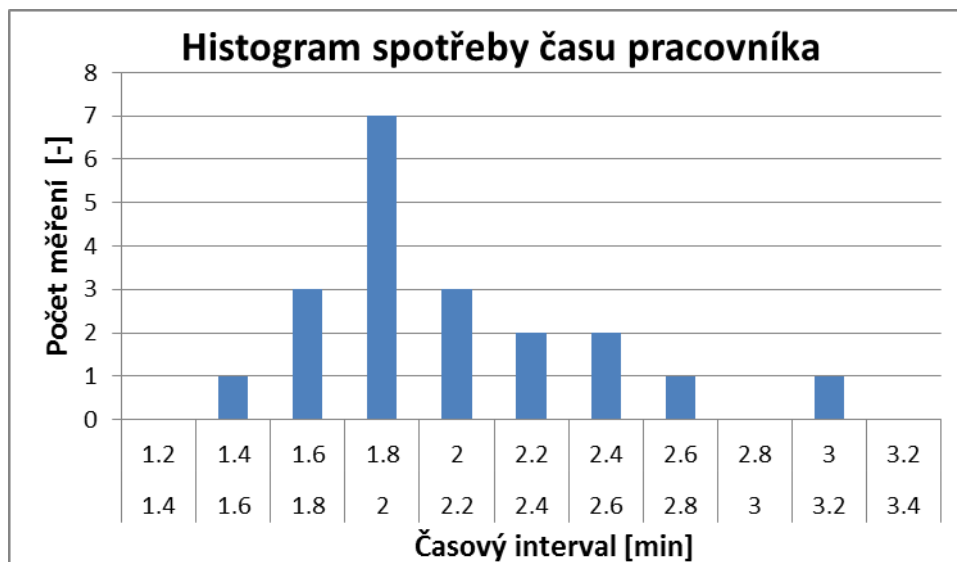
else

$CT = CycleTime_{(Tac,PP)}$

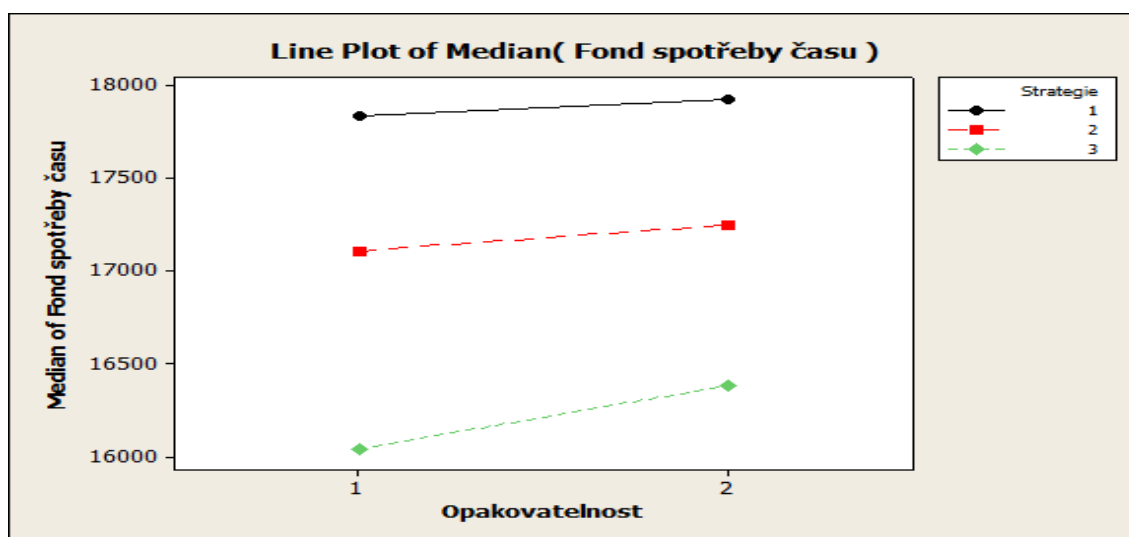
Endif

Obě hodnoty (spodní = minn a horní = maxx) odpovídají intervalu spolehlivosti 95 % a vycházejí z případové studie pro společnost Tetraco International s.r.o.

V rámci studie byla u malého množství měření pracovníků na některých stanicích zjištěna nesymetrie rozdělení. V těchto výjimečných případech dochází k většímu rozptylu spíše na straně vyšší spotřeby času činnosti, jak lze pozorovat např. v histogramu (Graf 8-11). Jelikož se jednalo o necelá 2 % případů, případné nesymetrie je možné pro účely této práce zanedbat.



Graf 7-10 Histogram spotřeby času pracovníka



Graf 7-11 Fond spotřeby podle opakovatelnosti ruční práce MO – 2. blok exp.

Vliv opakovatelnosti na hodnotu účelové funkce je zobrazen v (Graf 7-11). Porovnáním trendu účelové funkce mezi stavem  $MO = 1$  (bez stochastiky) a stavem  $MO = 2$  (se stochastikou) můžeme o strategiích obsluhy prohlásit.

Strategie WZ a RC mají přibližně stejný účelové funkce a přibližně stejný je i vliv opakovatelnosti ruční práce.

Na základě pozorování simulace lze říci:

- U WZ se stochastika projevuje na nejpomalejší stanici (ÚM typu „pracovní stanice“).
- U strategie RC se opakovatelnost nejvíce projeví u nejpomalejšího pracovníka (ÚM typu „pracovník“).
- Více senzitivní na tento typ stochastiky je strategie BB; pozorování již nenabízí snadné vysvětlení, ale lze se domnívat, že dochází k působení na rozhraní více dynamických zón. Kolísání časů na hranici dynamických zón tak samo omezuje schopnost strategie BB (balancování zón).

Na základě této diskuse o vlivu opakovatelnosti ruční práce jsme hodnocení strategií provedli především v (Tab. 8-31 Metodika - Procesní časy).

## 8 METODIKA

Metodika byla vytvořena na základě studia problematiky, předchozích praktických zkušenostech autora s řízením výroby v průmyslové praxi a na základě současné spolupráce na projektech realizovaných v praxi. Původně jsme metodiku rozvíjeli jako nástroj pro implementaci alternativních strategií rozvrhování obsluhy. Následně byla nasměrována jako pomůcka k výběru vhodné strategie.

Vytvořená metodika by měla sloužit při strategickém rozhodování o volbě systému obsluhy linky. Jedná se o posouzení strategie přiřazování pracovníků k pracovním úkolům na výrobních linkách s ohledem na aspekty výkonu systému, na řízení systému a na ergonomický dopad na obsluhu.

Na základě povědomí o alternativních strategiích obsluhy linek v malých a středních podnicích v České republice je možné stanovit, jaké požadavky by měla metodika splňovat. Měla by reflektovat současné trendy, ale i úroveň vědomostí pracovníků a dostupnost informací. Jedině tak lze její nové přístupy a poznatky aplikovat v praxi.

Metodika je zaměřena na výrobní linky s filozofií One piece flow. Jejím uživatelům by měla poskytnout vodítko, kde a s jakým efektem mohou očekávat adaptaci systému podle zvolené strategie obsluhy linky.

- Vytvořená metodika by měla poskytnout obecný návod k tomu, které faktory je třeba zvážit při návrhu linky a při rozhodování o systému obsluhy.
- V rámci metodiky se jako klíčové ukazuje upozornění na aspekty ovlivňující úspěšnost strategií, především na omezující podmínky.
- Cílem metodiky není ukázat na jednu strategii, která má být vybrána – to ani není možné. Významnost klíčových charakteristik se totiž liší společnost od společnosti.

Metodika zahrnuje dva pohledy. První část je zaměřena na technické a organizační limity pro uplatnění jednotlivých strategií. Tyto vlastnosti systému je jen velice těžké ovlivnit. Pokud nejsou v souladu se základní strategií, obvykle je řešením pouze reengineering linky nebo hybridizace strategie.

Druhý pohled je soustředěn na schopnosti jednotlivých strategií adaptovat organizační rozvržení úkonů s ohledem na produktivitu linky. Odezvy systému na působení vybraných faktorů byly analyzovány pomocí simulace.

Metodika se omezuje pouze na ruční výrobní linky s filozofií One piece flow. Jejím uživatelům by měla poskytnout vodítko, kde a s jakým efektem mohou očekávat adaptaci systému podle zvolenou strategii obsluhy linky.

Jednotlivé okrajové podmínky a faktory ovlivňují výběr strategie různým způsobem, ale není zde možné jednoznačně přiřadit jakousi váhu významnosti jednotlivých kritérií. Velký význam mají nejen vzájemné interakce jednotlivých faktorů, ale i jejich úroveň v reálném procesu. Problémem není jen rozsáhlé spektrum vzájemných kombinací a úrovní, ale také omezená dostupnost nebo pravdivost informací, které má posuzovatel k dispozici, případně i náročnost jednotlivých technických a organizačních opatření, která přiblíží reálný výrobní systém podmínkám, které jsou pro vybranou nebo posuzovanou strategii obsluhy vhodnější.

Proto původní myšlenka autora směřovala pouze na porovnávání strategií vždy pouze podle aktuálně posuzovaného faktoru a byly zvoleny 4 úrovně preferenčního uspořádání strategií. Strategie je:

- a) nevhodná (nesplňuje požadavky),
- b) omezeně použitelná nebo vhodnější jsou jiné strategie,
- c) použitelná, ale vhodnější je jiná strategie,
- d) nejlépe vhodná.

V rámci ověřování metodiky v praxi však byl vysloven požadavek na možnost orientačního porovnání strategií. Proto byly uvedené čtyři úrovně nahrazeny číselným (bodovacím) parametrem. Přiřazení hodnot 1, 2, 3 a 4 však není nejvhodnější. Nesplnění minimálního požadavku má jistě větší význam než např. nižší hodnota maximalizované účelové funkce. Proto byly zvoleny hodnoty 0, 3, 5 a 7.

Přestože jednotlivé faktory a omezující podmínky nemají z výše uvedených důvodů přiřazeny váhy významnosti, na základě součtu bodů pro jednotlivé strategie je možné vyvodit požadovaný dílčí úsudek.

Pomoci může také počet jednotlivých případů, kdy strategie nezískala maximální počet 7 bodů.

**Před samotným rozhodnutím je nutné individuálně posoudit všechny případy, kdy se uvažované strategie liší. Proč má daná strategie snížené hodnocení pro daný případ, jaká lze učinit opatření pro snížení dopadu apod.**

V případě, že je strategie v některém případě ohodnocena 0 body, neznamená to ještě, že se jí již nemáme zabývat. Důležité je zvážit relevantnost současného nesplněného požadavku. Je nutné zvážit dostupnost náhradních opatření, případně hledat přínosy hybridizace této strategie.

## 8.1 Část A: Topologie linek a vhodnost strategie

Nejprve je vhodné podívat se na případná technická a organizační omezení, která mohou hrát roli v rámci přiřazování pracovníků a tedy i při volbě strategie obsluhy. Patří sem především:

- Omezené přiřazování úkonů pracovníkovi.
- Ergonomické aspekty linky a BOZP.
- Struktura precedenčního grafu.
- Parametry kvality a odměňování.

### 8.1.1 Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi

Jde zpravidla o technologická nebo bezpečnostní opatření.

#### Neslučitelné úkony (Incompatible).

Úkony, které nesmějí být přiřazeny stejnému pracovníkovi v rámci pracovní smyčky.

Příčinou může být neslučitelnost tzv. čisté a špinavé práce, např. mazání dílu a následná manipulace s těsněním, protože kontakt mazadla s těsněním způsobí přichytávání nečistot a ztrátu funkce těsnosti.

Strategie WZ umožňuje rozdělit činnost mezi různé pracovníky přiřazením úkonů do různých pracovních zón.

Naopak strategie RC je s touto podmínkou neslučitelná, neboť předpokládá, že všichni dělají vše.

U strategie BB také nejsme schopni bez dalších opatření (hybridizace) zajistit oddělení těchto úkonů, obzvláště jsou-li sekvencovány blízko sebe.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-1).

Tab. 8-1 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, incompatible

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Podmnožiny úkoly jsou neslučitelné ( <b>incompatible</b> ), a nesmí být přiřazeny stejnému pracovníkovi, například kombinace čisté a špinavé činnosti	7	0	0

#### **Pevné přiřazení k obsluze (fixed).**

Některé úkoly musí být přiřazeny konkrétní osobě, např. se sníženou pracovní schopností nebo se svářečským průkazem.

Strategie WZ umožňuje přiřadit činnost danému pracovníkovi definováním zóny pro tohoto pracovníka a specifikací zvláštních požadavků na tuto zónu (za účelem následného přiřazování).

Naopak strategie RC je s touto podmínkou neslučitelná, neboť předpokládá, že všichni dělají vše.

U strategie BB také nejsme schopni zajistit fixní přiřazení bez hybridizace strategie.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-2).

Tab. 8-2 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, fixed

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Některé úkoly musí být přiřazeny ( <b>fixed</b> ) ke konkrétní osobě, např. se sníženou pracovní schopností	7	0	0

#### **Minimální časová propodleva (min).**

Strategie WZ umožňuje přiřadit činnost na konec pracovní zóny a vytvořit mezi dvěma pracovníky časový zásobník.

Naopak strategie RC je s touto podmínkou neslučitelná, protože předpokládá neustálou práci právě na tomtéž dílu po celou dobu zpracovávání (tedy pracovník by byl nucen čekat).

U strategie BB také nejsme schopni splnit podmínku, aby byl úkon zařazen na předávací místo, bez hybridizace strategie.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-3).



Tab. 8-3 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, min

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Mezi úkony musí být <b>minimální (min)</b> časová propodleva, např. při sušení barvy.	7	0	0

#### **Maximální časová propodleva (max).**

Mezi úkony musí být omezena maximální časová prodleva, např. aby nezaschlo lepidlo před přiložením druhé části.

Strategie WZ umožňuje přiřadit činnost do téže zóny, ale omezuje to možnosti balancování pracovních zón.

Naopak strategie RC předpokládá nepřerušování činnosti na produktu, neboť se mu neustále věnuje přiřazený pracovník.

U strategie BB je díl také pod kontrolou pracovníky. Impulz k předání dílu dává pracovník pokračující v práci na produktu. Je zde uplatněn tzv. pull princip (takový systém)

Proto přiřazení (Tab. 8-4).

Tab. 8-4 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, max

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Mezi úkony může být <b>maximální (max)</b> časová propodleva, např. aby nezaschlo lepidlo.	5	7	7

#### **Některé úkoly nesmí být přiřazena k samostatnému pracovníkovi.**

Několik pracovníků provádí plánované sekvence činnosti na stejném dílu (vícečlenná obsluha).

Tuto podmínku jsme schopni zajistit pouze hybridizací v rámci každé strategie.

Strategie WZ umožňuje tuto podmínku zajistit nejlépe vzájemným překrytím sousedních zón.

Strategie RC předpokládá výpomoc dalšího pracovníka a to buď zvláště přiřazeného, nebo například spolupráci se sousedními kolegy v sekvenci týmu nebo s kolegou vracejícím se na začátek linky.

U strategie BB jde o podobný komplikovaný případ.

Proto ohodnocení (Tab. 8-5).

Tab. 8-5 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, solo

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Některé úkoly nesmí být přiřazeny samostatnému pracovníkovi, např. bezpečnostní opatření.	7	3	3

#### **Kumulativní hodnota (cumulated value).**

Přiřazení úkolů pracovníkovi podléhá omezené kumulativní hodnotě nějakého atributu úkolu, např. jde o překročení limitu nadměrné zátěže nebo o lokální svalovou zátěž.

Strategie WZ neumožňuje zajistit tuto podmínku bez rotace pracovníků, která je již vnímána jako hybridizace strategie směrem k uplatnění strategie Rabbit chase na rozšířené pracovní zóně.

Strategie RC představuje rotaci pracovníků na exponovaných pracovních stanicích, která je pro tyto případy nejčastějším organizačním opatřením.

U strategie BB se obvykle očekává podíl více pracovníků, ale obzvláště při větším obsazení linky obsluhou to není zaručeno.

Proto ohodnocení (Tab. 8-6).

Tab. 8-6 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, cumulated vale

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonů k pracovníkovi			
Přiřazení úkolů k pracovníkovi podléhá omezené kumulativní hodnotě ( <b>cumulated value</b> ) nějakého atributu úkolu, např. překročení limitu nadměrné zátěže	0	7	3

#### **Bez omezení (0).**

Bez omezení pro přiřazení úkonů nejsou s ohledem na přiřazení úkonů pracovníkům identifikována žádná omezení.

Tento případ může také nastat a strategie pak jsou rovnocenné.

Proto ohodnocení (Tab. 8-7).

Tab. 8-7 Metodika - Omezené přiřazování úkonu, unlimited

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Bez omezení (0)	7	7	7

### **8.1.2 Ergonomické aspekty linky a BOZP**

Sledovány jsou ergonomické aspekty jako pracovní polohy, pracovní prostředí a charakter práce.

#### **Práce v sedu a práce vstoje a vsedě.**

V případě požadavků na přesnou či drobnou práci je doporučena práce vsedě, případně střídání práce vstoje a vsedě.

Strategie WZ je pro tyto pracovní polohy nejvhodnější, přestože při nižším stupni zaplnění linky obsluhou i zde dochází k přemístování pracovníka, což je nežádoucí.

Strategie RC je obecně považována za nejméně vhodnou, jelikož zde vždy dochází k posunutí pracovníka podél výrobní linky.

Pozn.: V případě velmi malého obsazení linky ve tvaru písmene U/O se však pracovník přesouvá pouze k následující pracovní stanici, zatímco v případě strategie WZ se pracovník vrací na začátek pracovní zóny, a to i na větší vzdálenost.

BB strategie si z hlediska této charakteristiky nikterak nezádá se strategií WZ.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-8).

Tab. 8-8 Metodika - Ergonomie a BOZP, pracovní polohy

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Ergonomické aspekty linky a BOZP			
Práce v sedu a práce vstoje a vsedě	7	3	7

Pozn. Práce vstoje není ovlivněna strategií

### **Kombinace jemné motoriky nebo sensorika a práce se zátěží.**

(lokální svalová zátěž / manipulace s břemeny).

Přiřazení pracovníka k úkonům, při nichž je např. využita jemná motorika bezprostředně po fyzické zátěži, je nežádoucí.

Strategie WZ umožňuje tyto úkony přiřadit k různým pracovním zónám a kolize eliminovat.

U strategií RC a BB se předpokládá dodržení technologické sekvence, která je výstupem procesu balancování.

Na rozdíl od strategie RC dochází u strategie BB k rozčlenění práce do dynamických zón. Proto ji lze považovat za vhodnější obzvláště při větším obsazení linky obsluhou, přestože přiřazení kritických úkonů různým pracovníkům není zaručeno.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-9).

Tab. 8-9 Metodika - Ergonomie a BOZP, sensorika a motorika

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Ergonomické aspekty linky a BOZP			
Kombinace jemné motoriky nebo sensorika a práce se zátěží	7	3	5

### **Pracovní stanice vyžadující rekonfiguraci podle obsluhy.**

Např. antropometrické přizpůsobení pracoviště levák/pravák nebo jazyková mutace.

Strategie WZ umožňuje pracoviště bez problémů individuálně nastavit.

U strategií RC je nastavení pracoviště kompromisní napříč celým týmem, popř. jde o nastavení one touch (jedním pohybem). V rámci Indasty 4.0 je diskutováno také inteligentní pracoviště, které predikuje identitu pracovníka před jeho příchodem a nastaví předvolené parametry pracoviště (např. jazykovou mutaci pracovní návodky).

Jak bylo uvedeno, při uplatnění strategie BB se práce rozčleňuje do dynamických zón. Po dynamickém balancování není u některých stanic zapotřebí žádných kompromisů, u ostatních je nutný jen dílčí kompromis. Proto lze strategii BB považovat za vhodnější obzvláště při větším obsazení linky obsluhou, přestože není zaručeno přiřazení kritických úkonů různým pracovníkům.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-10)

Tab. 8-10 Metodika - Ergonomie a BOZP, konfigurace pracoviště

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Ergonomické aspekty linky a BOZP			
Pracovní stanice vyžadující rekonfiguraci podle obsluhy	7	3	5

### Pracovní úkony se liší podle předpisu OOPP.

Na jednotlivých pracovních stanicích je předepsáno používání ochranných osobních pracovních prostředků.

U strategie WZ jsou pracovníci vybaveni OOPP podle požadavků příslušné pracovní zóny.

V případě strategií RC je nutné vybavit předepsanými prostředky celý pracovní tým, byť na jediné pracovní stanici (což je i nákladné). Sdílení většiny OOPP je nepřijatelné. OOPP se používají i tam, kde to není třeba, a to je přinejmenším diskomfortní.

Jako u strategie BB platí i zde informace o dynamických zónách. Lze tedy konstatovat, že rozšíření počtu OOPP na celý tým není obvykle nutné.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-11).

Tab. 8-11 Metodika - Ergonomie a BOZP, OOPP

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Ergonomické aspekty linky a BOZP			
Pracovní stanice mají předepsány OOPP	7	3	5

### Nebezpečí monotónní práce na jednotlivých stanicích.

Monotónnost je ergonomicky nežádoucí faktor, vznikající častým opakováním stejných nebo podobných, zpravidla krátkých činností.

U strategie WZ je toto riziko nejaktuálnější – nejčastějším opatřením je rotace pracovníků.

V případě strategií RC je rotace pracovníků zajištěna.

Tak jako u strategie BB platí i zde informace o zónách, byť dynamických, a i zde hrozí velké riziko monotónní práce.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-12).

Tab. 8-12 Metodika - Ergonomie a BOZP, monotónní práce

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Ergonomické aspekty linky a BOZP			
Nebezpečí monotónní práce na jednotlivých stanicích	3	7	3

### 8.1.3 Parametry kvality a odměňování

Tato část se zaměřuje na předpisy kvality, monitorování výroby a odměňování.

**Na každém kusu se může podílet pouze jeden pracovník.**

(minimalizace, kontaminace).

Jde obvykle o činnosti v potravinářství, lékařské technice a chemickém či laboratorním průmyslu.

Svým charakterem tuto podmínku splňuje pouze strategie RC.

Pozn.: Strategie WZ a BB splní požadavek pouze při obsazení linky jedním pracovníkem, kdy se všechny tři strategie ztotožní.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-13).

Tab. 8-13 Metodika - Parametry kvality a odměňování, jeden pracovník

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Na každém kusu se může podílet pouze jeden pracovník (minimalizace kontaminace)	0	7	0

#### **Produkt nese označení pracovníka.**

Pracovník musí být identifikován (např. potravinářství a medicína); zde již tedy nejde o tak přísné pravidlo.

Svým charakterem jej opět nejlépe splňuje strategie RC.

U strategie WZ jsme schopni také snadno identifikovat, který pracovník měl příslušnou činnost vykonat (zpravidla je to nastaveno na začátku směny – při operativních zásazích to nemusí odpovídat).

V rámci BB je nutné díky dynamickým zónám pracovníka dynamicky evidovat, např. osobním čipem (razítkem) na každém předávacím uzlu, když je produkt mezi pracovníky předáván.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-14).

Tab. 8-14 Metodika - Parametry kvality a odměňování, ID pracovníka

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Produkt nese označení pracovníka (pracovník musí být identifikován, např. potravinářství a medicína)	5	7	3

#### **Produkty musejí být tříděny podle zpracovatele.**

Zajištění stability procesu / omezení dopadu reklamací. Někteří zákazníci nebo kvalitaři požadují takové třídění a balení produkce, které je stratifikováno podle pracovníka. Při změně obsluhy na každé operaci je pak třeba díly oddělit.

Svým charakterem to opět plní nejlépe strategie RC. Paralelně se však pomalu zaplňuje počet obalů, který odpovídá obsazení linky.

U strategie WZ jsme schopni také snadno identifikovat, který pracovník měl příslušnou činnost vykonat. V případě různých osobních přestávek a organizačních změn je buď nutné „založit“ nový obal a evidovat změny v obsluze, nebo vyčkat, až dojde k původnímu obsazení linky.

Strategie BB je při těchto požadavcích nevhodná. Při zavádění pomocných opatření pak dochází k hybridizaci strategie směrem k WZ.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-15).

Tab. 8-15 Metodika - Parametry kvality a odměňování, výstup podle pracovníka

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Produkty musejí být tříděny podle zpracovatele (Zajištění stability procesu / omezení dopadu reklamací)	5	7	0

**Dochází k vyřazení produktů z linky vlivem nekvality.**

V průběhu zpracovávání dochází k častému vyřazení produktu z linky.

Při uplatnění strategie WZ dochází k poklesu efektivity vlivem rozdílného zatížení pracovních zón, především na začátku a na konci linky.

U strategie RC dojde při výskytu nekvality k uvolnění pracovníka, které je snadno rozpoznatelné. Ten se vrací na vstup linky, kde může dojít k čekání, než se stanice uvolní. Čekání ovlivňuje všechny pracovníky.

V rámci strategie BB také dochází k uvolnění pracovníka, které není obvykle tak viditelné jako v případě strategie RC. Pracovník spustí typický dominový efekt posunutí všech předchůdců. Při vyšším obsazení linky a vysoké nekvalitě dochází k uvolnění pracovníků před vstupem linky. Ti se mohou věnovat hledání příčin nekvality (případně opravám) nebo mohou být uvolněni na práci na jiném projektu.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-16).

Tab. 8-16 Metodika - Parametry kvality a odměňování, vyřazení nekvality

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Dochází k vyřazení produktů z linky vlivem nekvality	3	5	7

**Výkonnost je sledována pouze za celou linku.**

U strategie WZ dochází vlivem nedokonalého vybalancování procesu, vlivem nekvality apod. k rozdílnému zatížení pracovníků, což je ve vazbě na systém odměňování nevhodné.

U strategie RC jsou pracovníci zatěžováni rovnoměrně; tady systém týmového hodnocení odpovídá zatížení. Pozn.: Všichni jsou ale odkázáni na nejpomalejšího.

Systém strategie BB je postaven na rozdílech ve výkonu obsluhy. Proto zavádět BB při systému odměňování založeném na globálním výkonu není vhodné.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-17).

Tab. 8-17 Metodika - Parametry kvality a odměňování, monitorování celku

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Výkonnost je sledována pouze za celou linku	5	7	3

**Na každém pracovišti je třeba monitorovat výkon a kvalitu podle pracovníka.**

U strategie WZ je pracovník odkázán na výkonnost ÚM. Také kvalita může být ovlivněna výstupem z předešlých pracovních zón a to může působit frustraci.

U strategie RC je výkon omezen nejpomalejším pracovníkem, ale pokud vyloučíme sabotáže stanic, ovlivňuje každý pracovník svou kvalitu.

Systém strategie BB je postaven na rozdílech ve výkonu obsluhy a při vhodném pořadí pracovníků jej ovlivní každý sám. Kvalita však může být ovlivněna vstupy. Avšak díky menší závislosti na výkonu nejpomalejšího pracovníka na vstupu do linky nepodléhá tento pracovník takovému stresu a soustředí se na kvalitu a na zapracování.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-18).

Tab. 8-18 Metodika - Parametry kvality a odměňování, monit. jednotek

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Na každém pracovišti je třeba monitorovat výkon a kvalitu podle pracovníka	3	5	7

#### 8.1.4 Struktura precedenčního grafu

Jde zpravidla o technologická nebo konstrukční omezení.

##### **Cyklický precedenční graf.**

Produkty prochází přes stanice podle jejich pořadí (některé stanice jsou vynechány).

U strategie WZ dochází pouze u víceproduktových linek ke ztrátě efektivity práce, a to vlivem disproporcí při balancování jednotlivých zón, když jsou některé operace vynechány.

Strategie RC a BB sledují produkt, ale při vynechání také dochází k vzájemnému ovlivňování pracovníků, a to při čekání, než se uvolní zdroj (to však pouze při výrobním mixu).

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-19).

Tab. 8-19 Metodika - Struktura precedenčních grafů, cyklický

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Struktura precedenčních grafů			
<b>Cyklický precedenční graf</b> - Produkty prochází přes stanice podle jejich pořadí (některé stanice jsou vynechány)	5	7	7

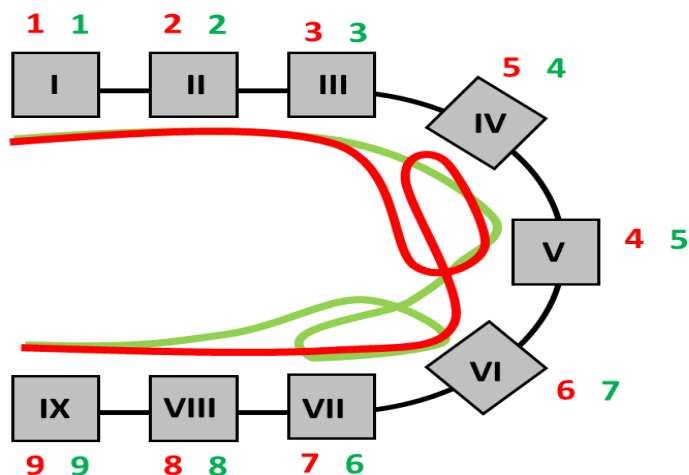
##### **Acyklický precedenční graf.**

Produkt se na některé stanice po vynechání vrací proti toku (některé stanice jsou využity opakovaně)

U acyklického precedenčního grafu jsou produkty na některých stanicích zpracovávány v různé fázi (Obr. 8-1).



Na obrázku je vidět prohozené pořadí stanic při zpracovávání úkonů 4 a 5 a při zpracovávání úkonů 6 a 7, a to v závislosti na zelené nebo červené variantě produktu. Jsou tedy paralelně uplatněny dvě pořadí odlišné sekvence prováděných úkonů.



Obr. 8-1 Acyklické zpracování červené a zelené varianty produktu

Dva možné případy podle specifikace produkce

- Multi line – vyrábí se odlišné varianty produktu ve výrobních dávkách
- Mixed line – výroba probíhá v produktovém mixu, tedy současně probíhá výroba několika variant zpravidla systémem FIFO.

U **strategie WZ** dochází ke ztrátě efektivity práce vlivem disproporcí při balancování jednotlivých zón. To platí o případě a) i o případě b).

V případě b) je u produktového mixu, kdy jednotlivé modifikace produktu procházejí přes pracovní zóny v různém pořadí, někdy nutná hybridizace. Pracovní zóny totiž získají více vstupních proudů, které je nutné vzájemně řídit.

U **strategie RC** platí pro a) i b), že pracovník kopíruje technologické požadavky jednotlivých modifikací produktů. Pouze v případě většího obsazení výrobní linky dochází k časovým kolizím a k čekání, než se pracovní stanice uvolní.

U **strategie BB** záleží na tom, zda jde o případ a), nebo o případ b).

V případě a) je situace při uplatnění strategie BB obdobná jako při uplatnění strategie RC.

V případě b) je u strategie BB problematický návrat pracovníka pro další produkt, a to kvůli nepřehlednosti procesu. Zároveň by vlivem rozdílné časové náročnosti práce na produktu mohlo dojít ke změnám pořadí pracovníků. (Na pořadí pracovníků v případě strategie BB záleží, jak jsme následně ověřili simulací.). Proto je strategie BB pro tento případ nevhodná

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-20).

Tab. 8-20 Metodika - Struktura precedenčních grafů, acyklický

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Struktura prioritního grafu			
<b>Acyklický precedenční graf a multi line.</b> Produkt se na některé stanice po vynechání vrací proti toku (některé stanice jsou využity opakovaně).	5	7	7
<b>Acyklický precedenční graf a mixed line.</b> Produkt se na některé stanice po vynechání vrací proti toku (některé stanice jsou využity opakovaně).	5	7	0

### 8.1.5 Paralelizace linky

Posuzuje se výskyt paralelních struktur.

#### Paralelní linky.

Zpravidla se jedná o výrobu párových podsestav (např. pravé a levé dveře karoserie nebo vřeten a jeho uložení a finální montáž). Jde o případ, kdy proběhnou úkony související s příslušným setem, čímž dojde k párování. Následně probíhá samostatné zpracování, na jehož konci se sestavy vloží do společného celku.

U strategie WZ lze lépe koordinovat práce na paralelních linkách, jelikož hranice pracovních zón jsou považovány za synchronizační uzly. Při zjištění neshody je tak možné vyřadit i párový produkt a eliminovat další vícenáklady (ztráty kapacity a vázanost či znehodnocení materiálových vstupů).

U strategií RC a BB může docházet k větším časovým rozdílům ve zpracování a k čekání na druhou pracovní linku před závěrečnou montáží. Náročnější je také zamezení zmíněných sekundárních ztrát vinou nekvality.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-21).

Tab. 8-21 Metodika - Paralelizace linky, paralelní linky

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Paralelizace linky			
Paralelní linky, např. pravá a levá strana s finální montáží	7	5	5

#### Podavače (Feeder).

Vedlejší linky vyžadují simultánní koordinaci – rozdělení úkolů a doby cyklu.

U strategie WZ lze dobře koordinovat práce na podávacích linkách.

Při uplatnění strategie RC dochází při nižším obsazení linky ke kumulaci pracovníků za pomalejším kolegou. Tím vzniká cyklické zatěžování podávacích linek (příčinou je rychlá sekvence požadavků následovaná delším výpadkem).

Strategie BB hraje roli v obsazení týmu a v pořadí členů – rovněž může docházet ke kumulaci požadavků, nebo naopak dynamické balancování může některé výpadky potlačit.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-22).

Tab. 8-22 Metodika - Paralelizace linky, podavače

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Paralelizace linky			
Podavače (feeder) vepodlejší linky vyžadují simultánní koordinaci - rozdělení úkolů a doby cyklu	7	3	5

#### **Paralelní stanice.**

Paralelní stanice se pravidelně střídají

Za předpokladu dobré vizualizace aktuálního pořadí u paralelních stanic zde není mezi strategiemi (oproti situaci bez paralelních stanic) rozdíl.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-23).

Tab. 8-23 Metodika - Paralelizace linky, paralelní stanice

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Paralelizace linky			
Paralelní stanice, paralelní stanice se pravidelně střídají	7	7	7

#### **Paralelní úkony (stanice).**

Úkoly jsou přiřazeny k více než jedné stanici (není známé pořadí dokončení).

V případě výrobního mixu nebo v případě osazení stanic zařízením s jinými parametry může být časová náročnost úkonů rozdílná.

U strategie WZ rozdíly v časech zpracování indukují nežádoucí interakce na hranici sousedních zón a ztrátu efektivity strategie.

Strategie RC je nejlépe vhodná, obzvláště v případě, že paralelní stanice mají určeny priority.

Pozn.: Má-li být snahou rovnoměrné zatěžování stanic z hlediska stabilizace jejich provozních podmínek a opotřebení, je nutné provést opatření, díky kterým půjde o přechodný případ.

U strategie BB se při velkých rozdílech cyklů paralelních úkonů může změnit pořadí pracovníků. To je z hlediska základní metodiky strategie nežádoucí (nepřípustné).

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-24).

Tab. 8-24 Metodika - Paralelizace linky, paralelní úkony

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Paralelizace linky			
Paralelní úkony jsou přiřazeny k více než jedné stanici (není známé pořadí)	5	7	3

### Nic není paralelní (0).

I tento případ je přípustný, pak hodnocení (Tab. 8-25).

Tab. 8-25 Metodika - Paralelizace linky, bez paralelní struktury

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Paralelizace linky			
Nic se neděje paralelně (0)	7	7	7

### 8.1.6 Závislost časů úkonů na jejich sekvenci

Posuzujeme, zda se vyskytují přírůsty času vlivem nezbytně nutných aktivit souvisejících s hlavní činností obsluhy.

#### Přímé (directly).

Přímé přírůsty času - časy nepravidelné obsluhy (výměna zásobníků, výměna nástroje, přepínání zařízení)

U strategie WZ působí přírůsty řadu disproporcí mezi pracovními zónami, nežádoucí interakce a pokles efektivity strategie.

U strategie RC působí přímé časové přírůsty disproporci v zatížení pracovníků. Ztráty výkonu naznačují zhuštění pracovníků na jedné straně a vznik nepravidelných odstupů na straně druhé.

V rámci strategie BB dochází (kvůli dynamickému a autonomnímu systému přerozdělování úkonů mezi obsluhu) k potlačení těchto časů.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-26).

Tab. 8-26 Metodika - Závislost časů úkonů, přímé přírůsty

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci			
Přímé ( <b>directly</b> ) přírůsty času - časy nepravidelné obsluhy (výměna zásobníků, výměna nástroje, přepínání zařízení)	3	5	7

#### Nepřímé (Indirect).

Nepřímé přírůsty času mezi stanicemi, např. počet sáhnutí a získání kontroly nad objektem a následně jeho umístění a uvolnění v rámci sekvence, přecházení operátora na velké vzdálenosti nebo se zátěží.

Pouze při velmi krátkých časech cyklů a vysokém stupni obsazení linky mohou hrát roli časy přecházení. Ty jsou v případě strategií WZ a BB sice potlačeny, ale zároveň roste vliv získávání a odkládání primárního dílu. Roli hrají také neproduktivní pohyby (vynucená přehmátnutí a podávání produktu), je-li třeba zlepšit kontrolu nad produktem. Důsledkem těchto pohybů je opět ztráta vybalancování linky.

Proto kontinuální práce s kontrolovaným (ve smyslu vhodně uchopeným) objektem obvykle dosahuje lepších výsledků.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-27).

Tab. 8-27 Metodika - Závislost časů úkonů, nepřímé přírůstky

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci			
Nepřímé ( <b>Indirect</b> ) přírůstky času mezi stanicemi (přecházení operátora na velké vzdálenosti / se zátěží)	5	7	5

### Bez přírůstků (0).

Žádné přírůstky se neprojeví nebo nejsou známy a zanedbávají se.

Proto hodnocení podle strategií (Tab. 8-28).

Tab. 8-28 Metodika - Závislost časů úkonů, bez navýšení časů

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci			
Bez přírůstků (0)	7	7	7

## 8.2 Část B: Charakteristika linek a odezva strategií

V části A jsme se zaměřili především na technická a organizační omezení a na vhodnost strategie.

Část B je zaměřena na dynamické chování linek a na odezvu výrobního systému na vybrané faktory. Vliv některých faktorů bylo nutné ověřit pomocí simulačních experimentů a porovnáním výsledků pro jednotlivé strategie.

Tyto výsledky jsou diskutovány v (Kap. 7.3), proto se zde zaměřujeme na přiřazení hodnot ukazatelů vhodnosti strategie z hlediska příslušné charakteristiky linky. Respektive se zde zabýváme širším pohledem na výrobní systém, tedy např. i na pracovníky a produkci.

Související charakteristiky jsou spojeny v rámci dílčí tabulky. Snahou bylo opět zachovat členění obvyklé v problematice ALBP. Další charakteristiky, které nejsou součástí členění v rámci ALBP, byly slučovány podle stejné filozofie.

Tab. 8-29 Metodika – Specifikace produkce

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Specifikace produkce			
Linka s jedním produktem ( <b>Single-model</b> )	7	5	5
Linka s výrobou více modelů v dávkách ( <b>Multi-model</b> )	5	5	7
Linka s výrobním <b>mixem</b> ( <b>Mixed-model</b> )	5	7	7

Tab. 8-30 Metodika – Flexibilita linky a obsluha

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Flexibilita linky a obsluha			
Linka <b>JIT/JIS</b> s požadavkem na <b>flexibilní takt</b> linky	3	7	7
Linka <b>A maximální produkce</b> vyžaduje se plné obsazení linky obsluhou	7	5	5
Linka <b>B s rezervní kapacitou</b> - obvyklé je střední obsazení obsluhou (např. produkce pro širší portfolio zákazníků)	3	5	7
Linka <b>C se sníženým výkonem</b> (útlum výroby, náhradní díly, náhradní technologie)	5	5	7
Obtížné <b>personální zajištění</b> (fluktuační pracovníků/nemocnost/regionální nedostupnost obsluhy)	3	5	7
<b>Rozdílná úroveň zapracovanosti</b> (agenturní pracovníci/ fluktuační pracovníků)	3	3	7
Vyšší stupeň <b>customizace produktu</b> - hrozí možnost záměna (je nutná správná identifikace varianty v mixu)	3	7	5

Poslední charakteristiku v (Tab. 8-30), jsme v rámci výsledku simulačních experimentů nediskutovali, proto ji komentujeme zde. Při vyšším stupni customizace produktu může být problém s identifikací modelu v mixu. U strategie RC má produkt pod kontrolou stejný pracovník od vstupu až po výstup. Proto je zde, na rozdíl od strategií WZ a BB, možnost tuto chybu udělat. U strategie BB dochází k přímému převzetí dílu následujícím pracovníkem, ale u strategie WZ dochází k odložení dílu na hranicích zón, což je nejvíce rizikové.

Tab. 8-31 Metodika - Procesní časy

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Procesní časy			
<b>Stochastické</b> procesní časy (ruční práce)	7	7	5
<b>Dynamické</b> procesní časy (malé výrobní dávky / široký sortiment - efekt učení se)	3	5	7
<b>Statické</b> a deterministické procesní časy (strojní časy / tempo vynucené dopravníkem)	7	7	7

Tab. 8-32 Metodika – Délka taktu a vybalancování

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Další aspekty konfigurace linky			
Délka taktu			
Linky s <b>krátkým časem</b> cyklu (<5 sec)	7	3	5
Linky se <b>středním časem</b> cyklu (>5 sec)	5	7	7
Linky s <b>dlouhým časem</b> cyklu (min)	7	3	5
Stupeň vybalancování Lean efficiency			
Linky s <b>vysokým stupněm vybalancování</b> LE (90-100%)	7	7	7
Linky s <b>nízkým stupněm</b> vybalancování LE (<90%)	3	5	7
Linky se sestupným vybalancováním	5	5	7
Linky s <b>plovoucím úzkým místem</b>	3	5	7

Tab. 8-33 Metodika – Layout linky

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Layout linky			
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky ( <b>tvár I nebo L</b> )	7	5	7
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky ( <b>tvár O nebo vnější U</b> )	7	7	7
U linky ( <b>U-buňky</b> ) s možností přecházet na druhou stranu tvořené jedním segmentem	5	3	7

### 8.3 Souhrn metodiky

Na základě povědomí o alternativních strategiích obsluhy linek v České republice byla sestavena následující metodika. Metodika reflektuje obvyklou úroveň vědomostí pracovníků a dostupnost informací a měla by poskytnout obecný návod. Formou dílčích tabulek upozorňuje na klíčové charakteristiky výrobního systému, které je třeba při výběru strategie obsluhy linek zvážit.

První část upozorňuje především na omezující podmínky určité strategie; jiná strategie je plní třeba pouze omezeně, nebo je není schopna vůbec zajistit.

Druhá část se soustřeďuje na charakteristické vlastnosti systému, které mohou mít nežádoucí vliv na ekonomiku provozu a na organizační zajištění.

Cílem metodiky není ukázat na jednu strategii, která má být vybrána, ale právě upozornit na výhody a nevýhody jednotlivých strategií, případně na benefity při změně strategie nebo na opatření, která je třeba při zavádění strategie zabezpečit.

#### 8.3.1 Část A: Charakteristika linek omezující podmínky

Také v části A byly spojeny související charakteristiky do dílčích tabulek. I zde bylo snahou zachovat členění obvyklé v problematice ALBP. Doplněné charakteristiky byly sdruženy ve stejném stylu.



Tab. 8-34 Metodika - Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Podmnožiny úkoly jsou neslučitelné (incompatible) a nesmí být přiřazeny stejnému pracovníkovi, například kombinace čisté a špinavé činnosti.	7	0	0
Některé úkoly musí být přiřazeny (fixed) konkrétní osobě, např. osobě se sníženou pracovní schopností.	7	0	0
Mezi úkony musí být minimální (min.) časová prodleva, např. se to týká sušení barvy.	7	0	0
Mezi úkony může být maximální (max.) časová prodleva, např. aby nezaschlo lepidlo.	5	7	7
Některé úkoly nesmí být přiřazeny samostatnému pracovníkovi, např. bezpečnostní opatření.	7	3	3
Přiřazení úkolů pracovníkovi podléhá omezené kumulativní hodnotě (cumulated value) nějakého atributu úkolů, např. jde o překročení limitu nadměrné zátěže.	0	7	3
Bez omezení (0)	7	7	7

Tab. 8-35 Metodika - Ergonomické aspekty linky a BOZP

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Ergonomické aspekty linky a BOZP			
Práce v sedu a práce vstoje a vsedě	7	3	7
Kombinace jemné motoriky nebo sensorika a práce se zátěží	7	3	5
Pracovní stanice vyžadující rekonfiguraci podle obsluhy	7	3	5
Pracovní stanice mají předepsány OOPP	7	3	5
Nebezpečí monotónní práce na jednotlivých stanicích	3	7	3

Tab. 8-36 Metodika – Parametry kvality a odměňování

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Parametry kvality a odměňování			
Na každém kusu se může podílet pouze jeden pracovník (minimalizace kontaminace)	0	7	0
Produkt nese označení pracovníka (pracovník musí být identifikován, např. potravinářství a medicína)	5	7	3
Produkty musejí být tříděny podle zpracovatele (Zajištění stability procesu / omezení dopadu reklamací)	5	7	0
Dochází k vyřazení produktů z linky vlivem nekvality	3	5	7
Výkonnost je sledována pouze za celou linku	5	7	3
Na každém pracovišti je třeba monitorovat výkon a kvalitu podle pracovníka	3	5	7

Tab. 8-37 Metodika – Struktura precedenčního grafu

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Struktura precedenčního grafu			
Cyklický precedenční graf Produkty prochází přes stanice podle jejich pořadí (některé stanice jsou vynechány)	5	7	7
Acyklický precedenční graf Produkt se na některé stanice po vynechání vrací proti toku (některé stanice jsou využity opakovaně)	5	7	3

Tab. 8-38 Metodika – Paralelizace linky

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Paralelizace linky			
Paralelní linky např. pravá a levá strana s finální montáží	7	5	5
Podavače (feeder) vepodlejší linky vyžadují simultánní koordinaci – rozdělení úkolů a doby cyklu	7	3	5
Paralelní stanice se pravidelně střídají	7	7	7
Paralelní úkony jsou přiřazeny k více než jedné stanici (není známé pořadí)	5	7	3
Nic se neděje paralelně (0)	7	7	7

Tab. 8-39 Metodika – Závislost časů úkonů na jejich sekvenci

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci			
Přímé (directly) přírůstky času – časy nepravidelné obsluhy (výměna zásobníků, výměna nástroje, přepínání zařízení)	3	5	7
Nepřímé (indirect) přírůstky času mezi stanicemi (přecházení operátora na velké vzdálenosti / se zátěží)	5	7	5
Bez přírůstků (0)	7	7	7

### 8.3.2 Část B: Charakteristika linek a odezva strategií

Tab. 8-40 Metodika – Specifikace produkce

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Specifikace produkce			
Linka s jedním produktem (Single-model)	7	5	5
Linka s výrobou více modelů v dávkách (Multi-model)	5	5	7
Linka s výrobovým mixem (Mixed-model)	5	7	7

Tab. 8-41 Metodika – Flexibilita linky a obsluha

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Flexibilita linky a obsluha			
Linka JIT/JIS s požadavkem na flexibilní takt linky	3	7	7
Linka A maximální produkce vyžaduje se plné obsazení linky obsluhou	7	5	5
Linka B s rezervní kapacitou - obvyklé je střední obsazení obsluhou (např. produkce pro širší portfolio zákazníků)	3	5	7
Linka C se sníženým výkonem (útlum výroby, náhradní díly, prodejní akce)	5	5	7
Obtížné personální zajištění (fluktuační pracovníků/nemocnost/regionální nedostupnost obsluhy)	3	5	7
Rozdílná úroveň zapracovanosti (agenturní pracovníci/fluktuační pracovníků)	3	3	7
Vyšší stupeň customizace produktu - hrozí záměna (nutná správná identifikace varianty v mixu)	3	7	5

Tab. 8-42 Metodika – Procení časy

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Procesní časy			
Stochastické procesní časy (ruční práce)	7	7	5
Dynamické procesní časy (malé výrobní dávky / široký sortiment - efekt učení se)	3	5	7
Statické a deterministické procesní časy (strojní časy / tempo vynucené dopravníkem)	7	7	5

Tab. 8-43 Metodika – Délka taktu a vybalancování

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Další aspekty konfigurace linky			
Délka taktu			
Linky s krátkým časem cyklu (<5 sec)	7	3	5
Linky se středním časem cyklu (>5 sec)	5	7	7
Linky s dlouhým časem cyklu (min)	7	3	5
Stupeň vybalancování Lean efficiency			
Linky s vysokým stupněm vybalancování LE (90-100%)	7	7	7
Linky s malým stupněm vybalancování LE (<90%)	3	5	7
Linky se sestupným vybalancováním	5	5	7
Linky s plovoucím úzkým místem	3	5	7

Tab. 8-44 Metodika – Layout linky

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Layout linky			
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky (tvar I nebo L)	7	5	7
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky (tvar O nebo vnější U)	7	7	7
U linky (U-buňky) s možností přecházet na druhou stranu tvořené jedním segmentem	5	3	7

Tab. 8-45 Metodika souhrnné hodnocení strategií

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi			
Ergonomie aspekty linky a BOZP			
Parametry kvality a odměňování			
Struktura prioritního grafu			
Paralelizace linky			
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci			
Specifikace produkce			
Flexibilita linky a obsluha			
Procesní časy			
Další aspekty konfigurace linky			
Layout linky			
Skóre podle strategie (suma)			
Počet „nulových“ stavů			
Počet „3“ stavů			
Počet „5“ stavů			
Počet „7“ stavů			

Jednotlivé faktory a omezující podmínky nemají přiřazeny váhy významnosti, přesto je na základě součtu bodů pro jednotlivé strategie možné vyvodit požadovaný dílčí úsudek.

Pomocí může také počet jednotlivých případů, kdy strategie nezískala maximální počet 7 bodů.



**Před samotným rozhodnutím je nutné individuálně posoudit všechny případy, kdy se uvažované strategie liší. Proč má daná strategie pro daný případ snížené hodnocení, jaká lze učinit opatření pro snížení negativního dopadu apod.**

Je-li strategie ohodnocena 0 body, neznamená to, že se jí již nemáme zabývat. Důležité je zvážit relevantnost současného nesplněného požadavku, dostupnost náhradních opatření nebo přínos strategie hybridní.

Práci s metodikou podrobněji ukážeme při popisu jejího ověřování.

### 8.3.3 Postup výběru strategií dle metodiky

Práce s metodikou obnáší 5 hlavních kroků výběrového postupu:

1. Výběr platných charakteristik.

Postupně revidujeme jednotlivé charakteristiky linek uvedené v metodické tabulce. Když se popisované klíčové znaky shodují s reálnou výrobní linkou, označíme tento řádek znak 1 v posledním sloupci metodiky označením „0/1“.

2. Bodové skóre.

Vyznačené řádky se započítávají do bodového skóre pro všechny sledované strategie. Bodové skóre je prvním vodítkem metodiky na podporu rozhodování při výběru strategie obsluhy.

3. Frekvence zastoupení bodových úrovní.

Protože jde stále o vzájemné alternativy strategií obsluhy, je dalším nástrojem a podporou rozhodování frekvence výskytu hlavně nižších bodových ohodnocení. To zpravidla znamená nutnost realizovat nápravná opatření pro zajištění efektivity.

4. Analýza slabých stránek linky (strategie).

V tomto kroku již individuálně posuzujeme jednotlivé konkrétní charakteristiky. Analyzujeme rozsah omezujících podmínek a dopad případných protiopatření.

5. Testování, implementace, optimalizace.

Na základě výsledku předešlých kroků, vybereme vítěznou strategii, případně testujeme strategie s podobným nejvyšším skóre. V případě, že se na základě výsledků, rozhodneme setrvat u současné strategie, provádíme optimalizaci podle omezení identifikovaných v rámci systematického posuzování linky a strategií.

## 9 OVĚŘENÍ METODIKY

Cílem této kapitoly je ověřit metodiku hodnocení strategií, pokud jde o přiřazování pracovníků k pracovním úkolům a o přiřazení vhodné strategie na případu z podnikové praxe. Dále zde uvedeme příklady možného uplatnění strategií alternativních.

Pro testování byla zvolena společnost z výrobní oblasti společnosti Tetraco International, s. r. o., která se zabývala především inovacemi a testováním výrobků v oblasti automatizace a elektroniky.

Výběr firmy ovlivnilo také to, že autor práce byl touto firmou přímo osloven. Vedení společnosti mělo v rámci spolupráce vstřícný postoj. Společnost byla v roce 2010 prodána a v roce 2014 přesunuta do Radebergu v Německu – působí zde pod názvem TEREPCO GmbH.

V rámci aktivní spolupráce jsme řešili problematiku týkající se hlavního projektu, jímž byla inovace skleníkových svítidel na ruční lince.

### 9.1 Tetraco – stav při zahájení spolupráce

Supervizor měl k dispozici jen několik dat v Excelu. Jednalo se především o historická data o zákaznických odvolávkách a o termínech jejich plnění, o informace o objemu a složení nakupovaných položek, o elektronické a konstrukční schéma inovovaného produktu, o soubor zákaznických požadavků na značení, o požadovanou charakteristiku všech režimů svítidla a o matici zapracovanosti jednotlivých zaměstnanců.

Naopak mu chyběly např. normy spotřeby času pro jednotlivé úkony a operace, rozvrhová schémata apod. K dispozici byla pouze (na základě historických dat) stanovená norma obvyklého výkonu v počtech kusů za směnu bez rozlišení sortimentu.

Cílem spolupráce bylo zvýšit a stabilizovat produktivitu pracovníků při akceptaci specifických omezení výrobního programu. Mezi tato omezení patří především:

- omezený pracovní prostor,
- výroba v nuceném mixu,
- velké výkyvy v objemu zakázek i v jejich složení,
- rozdílná časová náročnost modelů,
- malý pracovní tým s rozdílnou zapracovaností a kvalifikací,
- sekundární materiálové toky.

Společnost měla k dispozici jen velmi malé pracovní prostory, které znemožňovaly třídění produkce po demontáži, otestování produktu a identifikaci jeho varianty. Tato situace si společně s párováním elektroniky a krytu s výrobním číslem vynutila zpracování požadavků ve výrobním mixu (mixed line) a strategii OPF s minimální rozpracovaností.

V rámci analýz byly identifikovány tři hlavní typy přepracování produktu, které však byly rozpoznány až v průběhu zpracovávání, tj. v rámci testování jeho funkčnosti. Časy zpracování jednotlivých typů se přitom značně lišily.

Jednalo se o ruční linku. Pracovníci byli rozmístěni vně linky, po vykonání své operace (případně operací) předali výrobek na další pracoviště, tzn. byla aplikována tradiční Work zone (strategie pracovních zón). Ta však naráží na zásadní limity.

Zákazníkem požadované objemy se v jednotlivých dnech lišily jak v celkovém množství, tak ve skladbě sortimentu. Objem výroby lze přitom regulovat pouze zkracováním směn a přesčasy.

V případě požadavku na plné využití linky a v případě absence operátora nebyla možnost jej nahradit pracovníkem z jiného projektu nebo pracovníkem agenturním (oproti situaci ve větších firmách).

Proto bylo nejprve provedeno nové balancování linky. Přerozdělením činností bylo možné pro každý samostatný produkt P01, P02, P03 vytvořit rozvrhová schémata pro 1, 2, 3, 4, 6 a pro 12 operátorů. Tato schémata měla pomoci řídicímu pracovníkovi přiřadit pracovníky do pracovních zón.

Pro balancování linky bylo nutné zjistit časovou náročnost jednotlivých úkonů s ohledem na hlavní rozlišení typu produktů. Tyto podklady sloužily také ke stanovení norem spotřeby času a k nastavení nového systému odměňování.

Při porovnávání pracovních zón podle typu produktů je však vidět posunutí hranic jednotlivých pracovních zón (Tab. 9-1). V tabulce je barevně znázorněno rozdílné rozmístění čtyř operátorů, v závislosti na tom, který produkt by se vyráběl při dávkovém zpracování. Jak má ale řídicí pracovník rozvrhnout pracovníky při produkci ve výrobním mixu, když procento zastoupení jednotlivých variant produktů se hodinu od hodiny mění?

Tab. 9-1 Ukázka posunutí pracovních zón pro obsazení linky 4 operátory

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	PR1	PR1	PR1	PR2	PR2	PR2	PR3	PR3	PR3	PR4	PR4	PR4
P02	PR1	PR1	PR1	PR1	PR2	PR2	PR2	PR3	PR3	PR4	PR4	PR4
P03	PR1	PR1	PR1	PR1	PR2	PR2	PR3	PR3	PR4	PR4	PR4	PR4

Situaci komplikují zmíněné výkyvy v objemu odvolávek a složení produkce, přičemž obvyklé zastoupení jednotlivých produktů bylo v poměru P01 80 %, P02 15 %, P03 5 %. V současnosti dochází k výkyvu objednávek v celkovém denním objemu až o 90 % – ve složení dodávek docházelo k poklesu P01 až na úroveň 0 %.

Bylo nutné zavést novou evidenci výstupu z linky. Ta byla rozšířena o evidenci typu produktu a o výsledek testu kvality. Již nebylo možné zákazníkovi fakturovat a odměňovat zaměstnance podle celkového počtu zpracovaných kusů. Původní předpoklad o konzistentním procentuálním zastoupení jednotlivých typů produktů s výrazně odlišnou časovou náročností již nebyl splněn. Rovněž přibyl počet produktů, které byly náročnější na zpracování, a v případě negativního výstupního testu musely být tyto produkty zpracovány opakovaně.

Rozdílná časová náročnost a odlišné zastoupení dané varianty v jednotlivých dnech zapříčinily nemožnost splnit normu, a to ani při zvýšeném úsilí zaměstnanců, a rychle způsobily jejich demotivaci a stres. Prohloubil se tak problém nejen s výkonností, ale i s dostupností pracovního personálu.

Rostoucí fluktuace pracovníků následně zapříčinila také nárůst vlivu zapracovanosti (výkonnosti) jednotlivých pracovníků. Již dříve se výkonnost jednotlivých pracovníků podle jejich zkušeností, zručnosti a motivace lišila +/-30 % ve vztahu k časové normě stanovené chronometráží a průměrováním.



Také v rámci jednotlivých opakování téže činnosti se pracovní čas u jednoho a téhož pracovníka odlišuje. Časové diference přitom – podle dlouholetých pozorování pracovníka THP – dosahují u ruční práce více než 30 %. Potvrdily se tak informace sdružení MTM o nestabilitě ručních procesů z hlediska spotřeby času.

V případě společnosti Tetraco International, s. r. o., se tedy jedná o jeden z mnoha typů GALBP. Ve firmě probíhá víceproduktová výroba (dokonce ve výrobním mixu) s časově odlišnou náročností a vyskytuje se Moving the Bottle Neck (tzv. plovoucí úzké místo). Také se jedná o náročnou práci, vyžadující zručnost a zapracování.

Uplatněná strategie WZ byla na základě zjištění označena za pravděpodobně nevyhovující.

Mezi nedostatky strategie patří především tyto faktory:

- Flexibilitu objemu produkce lze řídit pouze zkrácením směny nebo přesčasy.
- Efektivně lze zapojit pouze vybrané počty pracovníků.
- Při produktovém mixu s plovoucím ÚM se jedná o silně neefektivní strategii.
- Odlišná výkonnost operátorů dále snižuje propustnost linky.

Omezené možnosti WZ jasně vyvolávají hledání alternativy. Pro ověření hypotézy o nevhodnosti strategie WZ pro společnost Tetraco jsme pomocí navržené metodiky provedli úvodní analýzu.

### 9.1.1 Metodika Tetraco 1. krok

V 1. kroku jsme vybrali relevantní charakteristické znaky pro případ linky ve společnosti Tetraco International, s. r. o.; výstup uvádíme v (Tab. 9-2).

Tab. 9-2 Metodika Tetraco – 1. krok

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Omezené přiřazování úkonu k pracovníkovi				
Podmnožiny úkoly jsou neslučitelné ( <b>incompatible</b> ) a nesmí být přiřazeny stejnému pracovníkovi, například kombinace čisté a špinavé činnosti	7	0	0	
Některé úkoly musí být přiřazeny ( <b>fixed</b> ) ke konkrétní osobě, např. osobně se sníženou pracovní schopností	7	0	0	1
Mezi úkony musí být <b>minimální (min)</b> časová propodleva, např. sušení barvy.	7	0	0	
Mezi úkony může být <b>maximální (max)</b> časová propodleva, např. aby nezaschlo lepidlo.	5	7	7	
Některé úkoly nesmí být přiřazeny samostatnému pracovníkovi, např. bezpečnostní opatření.	7	3	3	
Přiřazení úkolů pracovníkovi podléhá omezené kumulativní hodnotě ( <b>cumulated value</b> ) nějakého atributu úkolů, např. jde o překročení limitu nadměrné zátěže	0	7	3	1
Bez omezení (0)	7	7	7	
Dílčí součet část	7	7	3	



Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Ergonomické aspekty linky a BOZP				
Práce v sedu a práce vstojе a vsedě	7	3	7	1
Kombinace jemné motoriky nebo sensorika a práce se zátěží	7	3	5	
Pracovní stanice vyžadující rekonfiguraci podle obsluhy	7	3	5	
Pracovní stanice mají předepsány OOPP	7	3	5	
Nebezpečí monotónní práce na jednotlivých stanicích	3	7	3	1
Dílčí součet část	24	16	20	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Parametry kvality a odměňování				
Na každém kusu se může podílet pouze jeden pracovník (minimalizace kontaminace)	0	7	0	
Produkt nese označení pracovníka (pracovník musí být identifikován, např. potravinářství a medicína)	5	7	3	
Produkty musejí být tříděny podle zpracovatele (zajištění stability procesu / omezení reklamací)	5	7	0	
Dochází k vyřazení produktů z linky vlivem nekvality	3	5	7	1
Výkonnost je sledována pouze za celou linku	5	7	3	1
Na každém pracovišti je třeba monitorovat výkon a kvalitu podle pracovníka	3	5	7	
Dílčí součet část	8	12	10	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Struktura precedenční grafu				
<b>Cyklický precedenční graf</b> Produkty prochází přes stanice podle jejich pořadí (některé stanice jsou vynechány)	5	7	7	1
<b>Acyklický precedenční graf a Multi line.</b> Produkt se na některé stanice po vynechání vrací proti toku (některé stanice jsou využity opakovaně)	5	7	7	
<b>Acyklický precedenční graf a Mixed Line.</b> Produkt se na některé stanice po vynechání vrací proti toku (některé stanice jsou využity opakovaně)	5	7	0	
Dílčí součet část	5	7	7	



Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Paralelizace linky				
Paralelní linky např. pravá a levá strana s finální montáží	7	5	5	
Podavače (feeder) vepodlejší linky vyžadují simultánní koordinaci - rozdělení úkolů a doby cyklu	7	3	5	
Paralelní stanice, paralelní stanice se pravidelně střídají	7	7	7	1
Paralelní úkony jsou přiřazeny k více než jedné stanici (není známé pořadí)	5	7	3	
Nic se neděje paralelně (0)	7	7	7	
Dílčí součet část	7	7	7	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci				
Přímé ( <b>directly</b> ) přírůstky času - časy nepravidelné obsluhy (výměna zásobníků, výměna nástroje, přepínání zařízení)	3	5	7	1
Nepřímé ( <b>indirect</b> ) přírůstky času mezi stanicemi (přecházení operátora na velké vzdálenosti / se zátěží)	5	7	5	1
Bez přírůstků (0)	7	7	7	
Dílčí součet část	8	12	12	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Specifikace produkce				
Linka s jedním produktem ( <b>Single-model</b> )	7	5	5	
Linka s výrobou více modelů v dávkách ( <b>Multi-model</b> )	5	5	7	
Linka s výrobním <b>mixem</b> ( <b>Mixed-model</b> )	5	7	7	1
Dílčí součet část	5	7	7	



Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Flexibilita linky a obsluha				
<b>Linka JIT/JIS s požadavkem na flexibilní takt linky</b>	3	7	7	1
Linka A maximální produkce vyžaduje se plné obsazení linky obsluhou	7	5	5	
<b>Linka B s rezervní kapacitou - obvyklé je střední obsazení obsluhou (např. produkce pro širší portfolio zákazníků)</b>	3	5	7	1
Linka C se sníženým výkonem (útlum výroby, náhradní díly, prodejní akce)	5	5	7	
<b>Obtížné personální zajištění (fluktuace pracovníků/nemocnost/regionální nedostupnost obsluhy)</b>	3	5	7	1
<b>Rozdílná úroveň zapracovanosti (agenturní pracovníci/ fluktuace pracovníků)</b>	3	3	7	1
<b>Vyšší stupeň customizace produktu - hrozí záměna (je nutná správná identifikace varianty v mixu)</b>	3	7	5	1
Dílčí součet část	15	27	33	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Procesní časy				
<b>Stochastické procesní časy (ruční práce)</b>	7	7	5	1
<b>Dynamické procesní časy (malé výrobní dávky / široký sortiment - efekt učení se)</b>	3	5	7	
<b>Statické a deterministické procesní časy (strojní časy / tempo vynucené dopravníkem)</b>	7	7	5	
Dílčí součet část	7	7	5	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Další aspekty konfigurace linky				
Délka taktu				
Linky s krátkým časem cyklu (<5 sec)	7	3	5	
Linky se středním časem cyklu (>5 sec)	5	7	7	
<b>Linky s dlouhým časem cyklu (min)</b>	7	3	5	1
Stupeň vybalancování Lean efficiency				
Linky s vysokým stupněm vybalancování LE (90-100%)	7	7	7	
<b>Linky s malým stupněm vybalancování LE (&lt;90%)</b>	3	5	7	1
Linky se sestupným vybalancováním	5	5	7	
<b>Linky s plovoucím úzkým místem</b>	3	5	7	1
Dílčí součet část	13	13	19	

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades	0/1
Layout linky				
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky (tvar I nebo L)	7	5	7	
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky (tvar O nebo vnější U)	7	7	7	1
U linky (U-buňky) s možností přecházet na druhou stranu tvořené jedním segmentem	5	3	7	
Dílčí součet část	14	14	14	

### 9.1.2 Metodika Tetraco – 2. krok

V 2. kroku zpracovávání metodiky jsme vyhodnotili jednotlivé dílčí součty bodového hodnocení jednotlivých strategií (Tab. 9-3).

Tab. 9-3 Metodika Tetraco – 2. krok

Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi	7	7	3
Ergonomie aspekty linky a BOZP	10	10	10
Parametry kvality a odměňování	8	12	10
Struktura prioritního grafu	5	7	7
Paralelizace linky	7	7	7
Závislost časů úkonů na jejich sekvenci	8	12	12
Specifikace produkce	5	7	7
Flexibilita linky a obsluha	15	27	33
Procesní časy	7	7	5
Další aspekty konfigurace linky	13	13	19
Layout linky	14	14	14
Skóre podle strategie (suma)	<b>92</b>	<b>116</b>	<b>120</b>

Podle dílčího výsledku v 2. kroku uplatnění metodiky bylo možné usuzovat, že velký potenciál může v tomto případě přinést strategie Bucket brigades. Přestože jsme v rámci ověřování hypotéz zjistili, že vybrané strategie WZ, RC a BB jsou alternativou, dílčí výsledky poukazují na rozdíly.

Nejlépe je tedy hodnocena strategie BB, která získala 120 bodů. Následně strategie RC, které bylo přiřazeno 116 bodů. Současná strategie získala pouhých 92 bodů.

V dalším kroku se tedy zaměříme především na strategii Bucket brigades.

### 9.1.3 Metodika Tetraco – 3. krok

Tento 3. krok metodiky pracuje s přehledem bodového hodnocení pro relevantní řádky metodiky, (Tab. 9-4). Opět pro rychlý náhled na studovaný problém využijeme spodní část uvedené tabulky. Zde je přehledně uveden počet jednotlivých úrovní hodnocení (0, 3, 5, 7) pro jednotlivé strategie (WZ, RC, BB).

Tab. 9-4 Metodika Tetraco – 3. krok



Charakteristika linky	Work zones	Rabbit chase	Bucket brigades
Některé úkoly musí být přiřazeny (fixed) ke konkrétní osobě, např. se sníženou pracovní schopností	7	0	0
Přiřazení úkolů k pracovníkovi podléhá omezení kumulativní hodnotě (cumulated value) nějakého atributu úkolů, např. jde o překročení limitu nadměrné zátěže	0	7	3
Práce v sedu a práce vstojе a vsedě	7	3	7
Nebezpečí monotónní práce na jednotlivých stanicích	3	7	3
Dochází k vyřazení produktů z linky vlivem nekvality	3	5	7
Výkonnost je sledována pouze za celou linku	5	7	3
Cyklický precedenční graf Produkty prochází přes stanice podle jejich pořadí (některé stanice jsou vynechány)	5	7	7
Nic se neděje paralelně (0)	7	7	7
Přímé (directly) přírůstky času - časy nepravidelné obsluhy (výměna zásobníků, výměna nástroje, přepínání zařízení)	3	5	7
Nepřímé (indirect) přírůstky času mezi stanicemi (přecházení operátora na velké vzdálenosti / se zátěží)	5	7	5
Linka s výrobovým mixem (Mixed-model)	5	7	7
Linka JIT/JIS s požadavkem na flexibilní takt linky	3	7	7
Linka B s rezervní kapacitou - obvyklé je střední obsazení obsluhou (např. produkce pro širší portfolio zákazníků)	3	5	7
Obtížné personální zajištění (fluktuační pracovníků/nemocnost/regionální nedostupnost obsluhy)	3	5	7
Rozdílná úroveň zapracovanosti (agenturní pracovníci/ fluktuační pracovníků)	3	3	7
Vyšší stupeň customizace produktu - hrozí záměna (je nutná správná identifikace varianty v mixu)	3	7	5
Stochastické procesní časy (ruční práce)	7	7	5
Linky s dlouhým časem cyklu (min)	7	3	5
Linky s malým stupněm vybalancování LE (<90%)	3	5	7
Linky s plovoucím úzkým místem	3	5	7
Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky (tvar O nebo vnější U)	7	7	7
Počet „nulových“ stavů	1	1	1
Počet „3“ stavů	10	3	3
Počet „5“ stavů	4	6	4
Počet „7“ stavů	6	11	13



Výskyt nejvýznamnějších „nulových“ stavů je u všech tří srovnávaných strategií shodně 1 případ. Tedy pro každou strategii bude nutné provést zásadní opatření, pokud ji budeme chtít uplatnit.

Při porovnávání počtu stavů ohodnocených 3 body vystupuje do popředí strategie WZ s 10 výskyty, oproti 3x RC i 3x BB.

Porovnáme-li ještě počty výskytů 5bodového hodnocení, pak pro 5bodové hodnocení jsou zaznamenány 4 výskyty u WZ, 6 případů u RC a 4 u BB. Strategie WZ tedy zaznamenala na této úrovni nejmenší ztráty. To znamená, že charakteristika linky ve společnosti Tetraco vypovídá o velkém počtu dalších potenciálních komplikací při uplatnění současné strategie WZ.

U strategie RC není bodový odstup mezi strategií BB tak velký jako mezi strategiemi RC a WZ.

Mezi strategiemi RC a BB není žádný propad v bodovém hodnocení na úrovni 3b. Pouze na úrovni 5b je dva případy navíc v případě strategie RC. Lze tedy očekávat požadavek na větší počet méně náročných opatření, potřebných pro efektivní fungování strategie RC, než je tomu u strategie BB, případně lze očekávat nižší efektivitu strategie RC.

#### 9.1.4 Metodika Tetraco – 4. krok

Ve 4. kroku metodiky posuzujeme jednotlivé případy, kdy hodnocená strategie získala nízké ohodnocení (0 nebo 3 body) pro danou charakteristiku reálné linky.

V případě linky Tetraco hodnotím strategii BB a charakteristiky zvýrazněné v (Tab. 9-4).

Charakteristiky linky ve společnosti Tetraco, které omezují uplatnění strategie BB:

1. Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi – některé úkoly musí být přiřazeny konkrétní osobě.
2. Omezené přiřazování úkonu pracovníkovi – přiřazení úkolů pracovníkovi podléhá omezené kumulativní hodnotě nějakého atributu úkolů.
3. Ergonomické aspekty linky a BOZP – mebezpečí monotónní práce na jednotlivých stanicích.
4. Parametry kvality a odměňování – výkonnost je sledována pouze za celou linku.
5. Pozn.: V případě strategie RC je třeba zvážit např. tyto charakteristiky:
6. Omezené přiřazování úkonu k pracovníkovi – některé úkoly musí být přiřazeny konkrétní osobě
7. Flexibilita linky a obsluha – rozdílná úroveň zapracovanosti (agenturní pracovníci / fluktuace pracovníků).

Jednotlivé charakteristiky pro linku ve společnosti Tetraco rozklíčujeme v následujících odstavcích.

Všechna navržená opatření mají pro společnost Tetraco přínos bez ohledu na strategii obsluhy. Vedení společnosti se rozhodlo všechna doporučená opatření realizovat, a proto jednotlivá omezení doplníme komentářem k nápravným opatřením



Ad 1.

**Omezení 1.** Tato charakteristika linky souvisí s výstupní kontrolou. Poslední úkony prováděné na produktu souvisejí se závěrečným testem funkčnosti hardwaru svítidel. Tento test probíhá na testovacím zařízení, které podléhá vyhlášce č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu, o odborné způsobilosti v elektrotechnice. Obsluha testovacího zařízení musí splnit min. kvalifikační požadavky § 6 Pracovníci pro samostatnou činnost.

**Opatření 1a.** Zařízení bylo upraveno tak, aby požadavky na obsluhu byly sníženy na úroveň § 5 Pracovníci znalí. Na této úrovni je již proškolen celý pracovní tým.

**Opatření 1b.** Závěrečné testování je prováděno poloautomaticky. S ohledem na časovou náročnost je testování prováděno na paralelních stanicích, které se buď střídají pravidelně, nebo se aktivují po skupinách. Proto byla tato operace z linky vyřazena a je prováděna v rámci nepravidelných činností obsluhy (zpravidla pracovník se sníženou pracovní schopností nebo supervizor).

**Omezení 2.** Nejnáročnější úkony na stanici č. M05 znamenají vysoké zapojení pracovníka pro všechny stupně obsazenosti linky. Pracovník se tedy nejméně pohybuje. Firma zřídila toto pracoviště proto, že chce čerpat dotace a úlevy související s pracovním místem pro osoby se sníženou pracovní schopností a disponuje bezbariérovým přístupem.

**Opatření 2a.** S ohledem na nárůst nekvality bylo nutno zřídit pracoviště pro drobná přepracování. Toto pracoviště bylo společně se závěrečným testem koncipováno pro osoby se sníženou pracovní schopností.

**Opatření 2b.** Alternativním opatřením byla hybridizace základních strategií. Linka ve společnosti Tetraco byla rozdělena do 4 zón:

1. zóna byla tvořena pracovními stanicemi M01 až M04;
2. zónou bylo samostatné pracoviště M05;
3. zóna obsáhla pracoviště M05 až M12;
4. zónu tvořilo pracoviště testování a pracoviště pro drobná dokončení.

Ad 2.

**Omezení.** Pracoviště M01, na němž probíhá demontáž zakrytování hardwaru, bylo vyhodnoceno jako ergonomicky nevhodné. Byla zde identifikována lokální svalová zátěž při povolování šroubových spojů krytu. Původní opatření (které často nebylo prováděno) spočívalo v přiřazení úkolu pracovníkovi s lepší predispozicí nebo v zavedení rotace.

**Opatření.** Byl zhotoven upínací přípravek a instalována šroubovací jednotka. Došlo k eliminaci lokální svalové zátěže a k výraznému zkrácení času úkonu, které pak bylo využito při novém balancování linky.

Ad 3.

**Omezení.** Dříve byla uplatňována filozofie maximální rozpracovanosti, kterou umožnily omezené prostory. Pracovníci byli po dobu 1. části směny koncentrováni na začátku linky, kde pracovní zóna odpovídala jedné stanici – před ÚM stanice M05 byla tvořena zásoba. Za stanicí M05 byla taktéž zásoba, protože následující zóny byly tvořeny větším počtem stanic. Když došel prostor na demontované kryty, došlo k přeskupení kapacit ze začátku linky na její konec. Vlivem koncentrace drobných úkonů M02 (M10) při kumulaci kapacit do části linky byl uměle vytvořen problém spočívající v monotónnosti práce.

**Opatření.** Předpokládá se obvykle nižší obsazení linky a dynamické střídání pracovníků. Při vyšším stupni obsazení linky bude pracovníkům umožněna rotace.

Add 4.

**Omezení.** Dříve byl monitorován pouze počet dobrých kusů na konci směny. Tento stav přestal vyhovovat i s ohledem na změnu složení produkce. Fakturovaná částka často neodpovídala přidané hodnotě pro zákazníka. Předěšlý kontrakt byl založen na předpokladu stálého procentuálního zastoupení základních skupin P01, P02 a P03.

**Opatření.** Bylo zavedeno průběžné sledování produkce v průběhu směny. S ohledem na zvýšený poměr produktů nižší kvality P03 bylo zavedeno také sledování kvality a výkonnosti na jednotlivých stanicích. Ve vazbě na nový systém odměňování byly informace o práci na jednotlivých produktech provázány s pracovníkem.

#### **Všechna uvedená opatření byla navržena a zpracována autorem práce.**

Uvedeným způsobem byly v případě společnosti Tetraco rozpracovány všechny charakteristiky linky s bodovým ohodnocením 0 až 3 body pro všechny tři strategie. Zmíněná smlouva o mlčenlivosti však neumožňuje zveřejnění, ani v příloze.

### **9.1.5 Metodika Tetraco – 5. krok**

V pátém kroku provedeme výběr strategie. Můžeme dospět výše zmíněným stavům:

- a) Dosavadní kroky metodiky poukazují na současnou strategii. Pak se soustředíme na optimalizaci, u charakteristik s nízkým skóre.
- b) Byly identifikovány zásadní přínosy nové strategie. Potom realizujeme příslušná opatření a strategii implementujeme.
- c) Strategie mají blízká bodová skóre. V těchto případech zvažujeme testování strategií.
- d) Pokud strategie nesplňují požadovaná očekávání, hledáme přínosy hybridizace strategií.

### **9.2 Ověření výsledků metodiky pro Tetraco v praxi**

Rovněž výstupy testování strategií v reálném provozu je možné pouze shrnout do několika vět bez připojení vstupních dat, kterými byly protokoly s časovou stopou produkce.

Po implementaci systému monitorování výkonnosti a kvality byla po dobu 20 dní sbírána data o strategii WZ, a to do doby, než byla realizována další opatření pro strategie RC a BB.

### 9.2.1 Strategie Work zones

Díky novému vybalancování pracovních stanice je jich nyní 12 (M01-M12), Mezi 12 stanic se menší tým s nejčastěji 6–8 pracovníky rozděluje lépe, než tomu bylo pro 13 stanic. Také díky zvýšené pozornosti a motivaci pracovníků došlo k nárůstu propustnosti linky o cca 14 %, proti předešlému období, kdy již bylo známo složení sortimentu v zakázce.

### 9.2.2 Strategie Rabbit chase

Strategie RC byla testována po dobu 3 směn, kdy byl nepřítomen pracovník na vozíku, který není zapracován na jiné stanice než na M05. Obsazenost linky byla 3, 6, 7 pracovníků. Srovnávat je však možné pouze v případě stejného obsazení stejnými pracovníky a alespoň při podobném složení sortimentu. Tyto podmínky byly splněny pouze jednou proti strategii WZ a jednou proti strategii BB.

V případě srovnání strategií RC a WZ byla strategie WZ horší o 32 %.

V případě srovnání strategií RC a BB byla strategie BB lepší o 6 %.

V případě směny, kdy bylo nejprve 6 pracovníků doplněno 7. pracovníkem, byl jasně patrný propad výkonnosti. Místo nárůstu propustnosti linky došlo s jeho příchodem (vlivem jeho malé zapracovanosti) k jejímu poklesu.

Nicméně na základě jedné hodnoty není možné činit zřetelné závěry.

Pracovníci zdůrazňovali především to, že se mezi stanicemi museli přesouvat mnohem méně, jen na kratší vzdálenosti. Ani pohyb pouze jedním směrem na kolečkové židli nevnímali jako jednostranné zatížení dolních končetin.

Negativní vliv však měla především malá zapracovanost na ÚM linky. Tyto pracovní úkony vůbec nezvládají 3 pracovníci (brigádníci). Další 5 pracovníků je schopno zvládnout pouze požadavky kvality, ale výkonností jsou na cca 50 %. Pouze 7 pracovníků mělo příležitost se zapracovat na úrovni 80–90 % maximálního výkonu linky. Plného zapracování a plnění na více než 120 % jsou schopni pouze dva vozičkáři a supervizor (THP).

Malá zapracovanost a následná nízká propustnost linky vedla k zavržení strategie RC.

### 9.2.3 Strategie Bucket brigades

Do doby vyhodnocení byla strategie BB testována po dobu 15 směn. Přes omezené možnosti srovnání, s ohledem na malý soubor měření, lze strategii BB jednoznačně označit za vhodnější než strategii WZ. Propustnost systému vzrostla o cca 25 %.

I zde však sehrála negativní roli malá zapracovanost pracovníků na ÚM. Výsledný pohyb pracovníků, který bylo možno sledovat, vedl k otestování hybridní strategie. Hybridní strategie však v této práci není předmětem zkoumání.

Velkým problémem se v praxi ukázalo sledování výkonnosti jednotlivých pracovníků. Podle dotazů týkajících se způsobu hodnocení výkonnosti lze konstatovat, že většina z cca 30 oslovených pracovníků z různých výrobních společností sleduje pouze celkovou výkonnost a kvalitu týmu. Individuálně je sledována pouze odstupňovaná schopnost zvládnout jednotlivé operace. Z pravidla jsou v rámci matice zapracovanosti uváděny tyto úrovně: pracovník bez zapracování, schopen práce pod dohledem, schopen samostatné práce (plní kvalitativní požadavky), výkonově

zpracován (schopen plnit kvalitativní i výkonové požadavky), plně zpracován (je schopen zpracovávat další pracovníky).

V rámci strategie BB je však vhodné řadit pracovníky podle aktuální výkonnosti. Je tedy třeba rozlišit nejen zpracovanost, ale i výkonnost. Důležitá je ale výkonnost aktuální, nikoliv jen dlouhodobá.

Proto byl uplatněn nástroj na realtime sledování odvedené práce jednotlivými pracovníky. Na základě odvedené práce bylo zavedeno také sledování krátkodobé produktivity pracovníků (ks/hod.). Na základě ukazatele produktivity je možné usuzovat na změnu pořadí pracovníků.

S ohledem na omezené možnosti porovnávat výkonnost pracovníků v praxi jsme soubor experimentů doplnili o dvě nastavení.

- Nastavení s pořadím pracovníků v opačném pořadí, než odpovídá teorii o strategii BB. Tedy jako první byl zařazen nejpomalejší pracovník a až jako poslední vstoupil do linky pracovník nejrychlejší.
- Druhé nastavení odpovídá náhodnému rozložení výkonnosti pracovníků nejen v jejich pořadí, ale také na jednotlivých stanicích.

Detaily jsme uvedli u vyhodnocení těchto experimentů.

#### 9.2.4 Hybridní strategie

K dispozici byla data ze 4 směn pro hybridní strategii, kdy v první zóně M01 až M04 pracovali 2–3 pracovníci za využívání strategie RC. Druhou zónu tvořila vozičkářka na stanici M05. Na konci linky byla zóna M06–M12 obsazena 3–4 pracovníky za využívání strategie BB. Na hranici 2. zóny byl využit vyrovnávací zásobníky omezený na 3 kusy. Dosažení 3 kusů znamenalo přesunout jednoho pracovníka ze zóny 1 do zóny 3. Zásoba 0 ks a opakované čekání znamenaly přesun pracovníka ze zóny 3 do zóny 1.

Velmi neobvyklá hybridní strategie, kombinující všechny tři strategie, dosahovala velmi podobných výsledků jako strategie BB. Lépe však bylo vnímáno fixní obsazení M05 zpracovaným pracovníkem pro tuto operaci a různoměrné zatížení pracovníků na první zóně. První zóna byla vnímána jako ergonomicky nevhodná pro klasickou zónovou strategii nebo pro strategii BB, s ohledem na lokální svalovou zátěž na pracovišti M01 a „monotónní“ práci na pracovišti M02. Problém na M01 byl však odstraněn přípravkem. Na pracovišti M02 se nejedná o monotónní práci z hlediska častého opakování jednoduchých činností, ale o stresový faktor, který vyplývá z rizika chyby při identifikaci varianty produktu. Tento faktor vede k častému opakování testů.

V rámci praktického ověřování metodiky jsme na žádost společnosti Tetraco přidali hodnotící ukazatel – stupeň plnění norem  $\alpha$ .

### 9.3 Ověření výsledků metodiky pro Tetraco pomocí simulace

Metodiku jsme ověřili také za pomoci výsledků simulačních experimentů. Experimenty jsme provedli na modelu linky ve společnosti Tetraco. Některá data jsme však byli nuceni nepatrně upravit, aby nebyla v přímém konfliktu se smlouvou o mlčenlivosti. Uvedená data jsou schválena vedením společnosti Tetraco International, s. r. o.

#### Třetí simulační blok

Cílem třetího simulačního bloku experimentů bylo ověřit metodiku porovnáním výsledku simulace pro linku ve společnosti Tetraco.

Experimenty jsme koncipovali obdobným způsobem jako ve fázi simulační studie strategií WZ, RC a BB.

Tomuto bloku experimentů tedy odpovídá nastavení řídicích simulačních parametrů (Tab. 9-5).

Tab. 9-5 Simulační parametry – 3. blok exp.

Simulační parametr		Hodnoty
Strategie	Stra	1,2,3
Počet pracovníků	LQ	1,2,3,...12
Matice časových norem	MT	5
Matice zapracovanosti	MX	5
Opakovatelnost ruční práce	MO	2
Přechodová matice	MP	4
Počet replikací	MR	10

Simulační experimenty jsme stratifikovali podle parametru LQ (1..12), který odkazuje na počet aktivních pracovníků. Následně jsme výsledky rozdělili do bloků podle příslušné strategie.

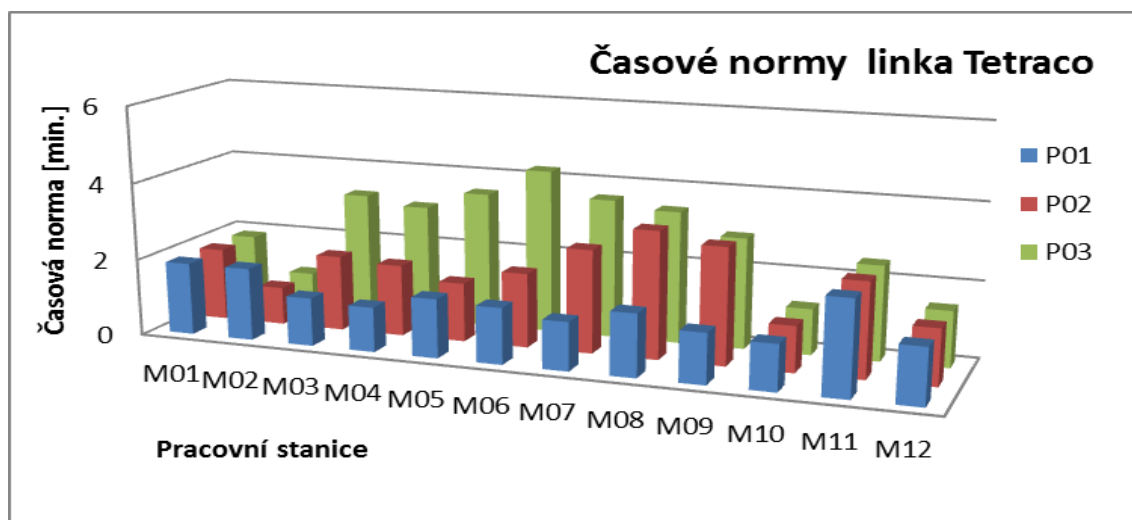
Časová matice č. 5 reprezentuje situaci podobnou na lince ve společnosti Tetraco. Časy všech operací jsou proporcionálně identické s reálnou linkou a reprezentují tak reálné vybalancování linky. Celková vážená průměrná norma spotřeby času přes všechny modely byla opět 1,91 minuty. Byla zachována možnost porovnání s výsledky simulačního bloku č. 1 a č. 2.

Matice pro tři produkty P01, P02 a P03 jsou (Tab. 9-6).

Tab. 9-6 Matice norem spotřeby času MT=5

Tetraco	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	1,88	1,88	1,25	1,16	1,53	1,46	1,26	1,63	1,31	1,20	2,46	1,46
P02	1,88	0,98	1,96	1,86	1,53	1,93	2,68	3,30	3,03	1,20	2,46	1,46
P03	1,88	0,98	3,26	3,06	3,53	4,25	3,61	3,43	2,88	1,20	2,46	1,46

Pro bližší představu o vybalancování linky v 3. bloku experimentů jsou normy spotřeby času na jednotlivých stanicích M01 až M12 pro produkty P01, P02 a P03 zobrazeny v (Graf 9-1)



Graf 9-1 Normy spotřeby času podle matice MT=5 – 3. blok exp.

Matice zpracovanosti č. 5 reprezentuje vybranou část reálného pracovního týmu linky ve společnosti Tetraco. Výkonnost pracovníka odpovídá datům získaným v období testování strategií v praxi. Zjištěná výkonnost byla zaokrouhlena na +/- 5%. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v (Tab. 9-7)

Tab. 9-7 Matice zpracovanosti MX=5, LQ=1..12

Tetraco	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
Pr1	55%	90%	120%	60%	80%	90%	110%	120%	110%	110%	100%	120%
Pr2	55%	55%	100%	70%	90%	80%	100%	100%	100%	110%	110%	120%
Pr3	100%	50%	100%	50%	50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr4	90%	55%	90%	55%	55%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Pr5	55%	85%	55%	90%	90%	90%	90%	80%	100%	120%	140%	125%
Pr6	100%	50%	100%	80%	70%	70%	80%	90%	90%	100%	90%	110%
Pr7	55%	110%	90%	130%	85%	110%	60%	60%	70%	80%	140%	110%
Pr8	55%	80%	90%	130%	85%	110%	60%	60%	70%	90%	140%	120%
Pr9	95%	55%	80%	55%	55%	55%	85%	90%	100%	100%	100%	100%
Pr10	100%	50%	110%	50%	50%	50%	80%	90%	90%	130%	60%	140%
Pr11	55%	80%	55%	120%	85%	110%	70%	70%	80%	90%	120%	100%
Pr12	55%	85%	55%	120%	80%	100%	70%	70%	80%	80%	110%	90%

V procedurách 3. simulačního bloku experimentů je hodnota spotřeby času vypočtena na základě údajů z uvedené datové základny (pro MT = 5 a MX = 5) – v závislosti na typu dílce (TypPart) – aktuálním pracovníkem (L), konkrétní pracovní stanicí (S) a nastavením parametrů experimentu (MO).

V rámci experimentování bylo pro MO = 2 využito symetrické trojúhelníkové rozdělení, doporučené dodavatelem softwaru Triangle (min., střed, max.).

Kde **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub> = střední čas cyklu

Min= spodní hodnota 70 % = 0,7\* **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub>

Střed = střední hodnota 100 % = 1,0\* **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub>

Max= horní hodnota 130 % = 1,3\* **CycleTime**<sub>(Tac,PP)</sub>

Obě hodnoty (spodní a horní) odpovídají intervalu spolehlivosti 95 % a vycházejí z dat získaných chronometráží při ověřování nového vybalancování linky ve společnosti Tetraco.

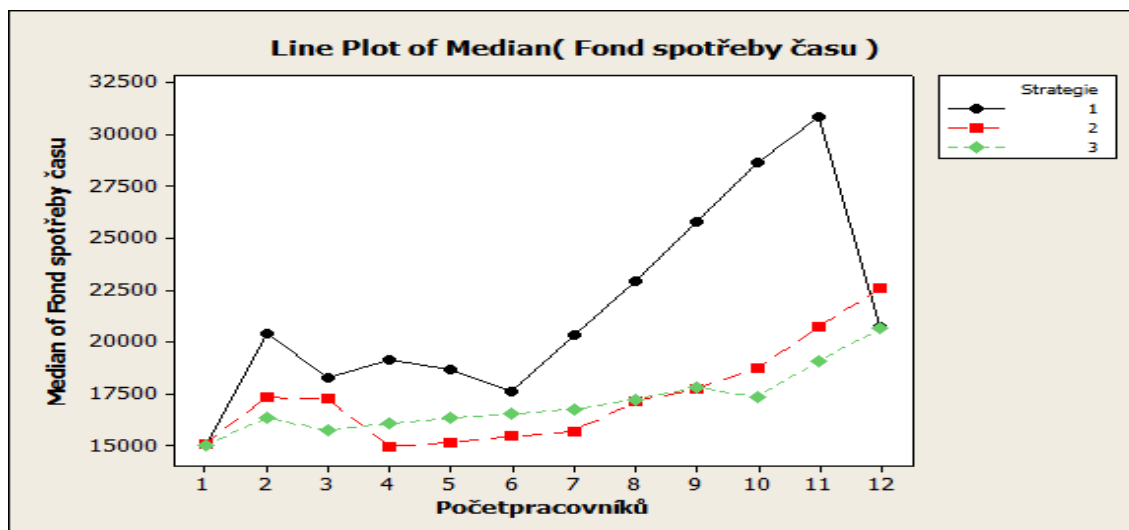
Přechodová matice č. 4 reprezentuje linku s layoutem ve tvaru písmene O/U. Proporce času přecházení a celková vážená průměrná norma spotřeby času přes všechny modely odpovídají poměru u reálné linky ve společnosti Tetraco. Takto přiřazený čas je 0,25 min. na přesun mezi sousedními stanicemi. Přechodová matice č. 4 je uvedena v (Tab. 7-13).

Výsledky třetího bloku experimentů, jehož cílem bylo ověřit metodiku jako nástroj pro volbu strategie, uvádíme v následujících grafech.

První (Graf 9-2) zobrazuje fond spotřeby času v závislosti na stupni obsazení linky. Při srovnání (Graf 7-8) s (Graf 9-2), je u 1. strategie WZ netypický výkyv hodnoty účelové funkce pro dva pracovníky. To je způsobeno právě malou zpracovaností zvoleného pracovníka na části úkonů v přidělené pracovní zóně.

Protože obvyklá obsazenost linky ve společnosti Tetraco je 6 až 10 pracovníků, výsledek pro strategii WZ odpovídá simulaci a výsledek pro WZ odpovídá hodnocení podle metodiky. V obou případech se strategie WZ pro linku ve společnosti Tetraco ukazuje jako nevhodná.



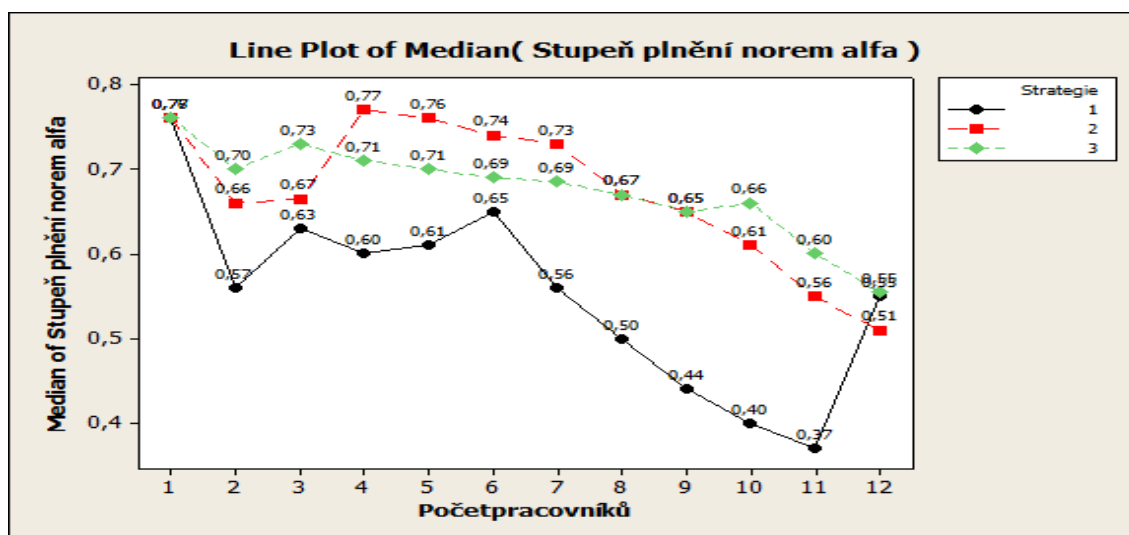


Graf 9-2 Tetraco Závislost Fondu spotřeby času na LQ

U strategie RC bylo třeba zvážit řadu omezení, která si společnost Tetraco International, s. r. o., nepřála zveřejnit. Uvádíme však požadavek na fixní přiřazení pracovníka ke konkrétnímu úkolu. Tento požadavek je ale možné splnit pouze hybridizací strategie, stejně jako v případě strategie BB. Problematický je také velký vliv výkonnosti pracovníků. Dlouhodobou výkonnost pracovníků na všech stanicích však nebylo možné dostatečně zmapovat.

Analýze byli přednostně podrobeni pracovníci, kteří měli smlouvu na HPP a 100% pracovní úvazek. Ti byli pro simulační experiment vybráni přednostně. Lze proto očekávat, že při zapojení pracovníků s nižším pracovním úvazkem bude rozdíl mezi RC a BB výraznější, než ukazují výsledky 3. bloku experimentů.

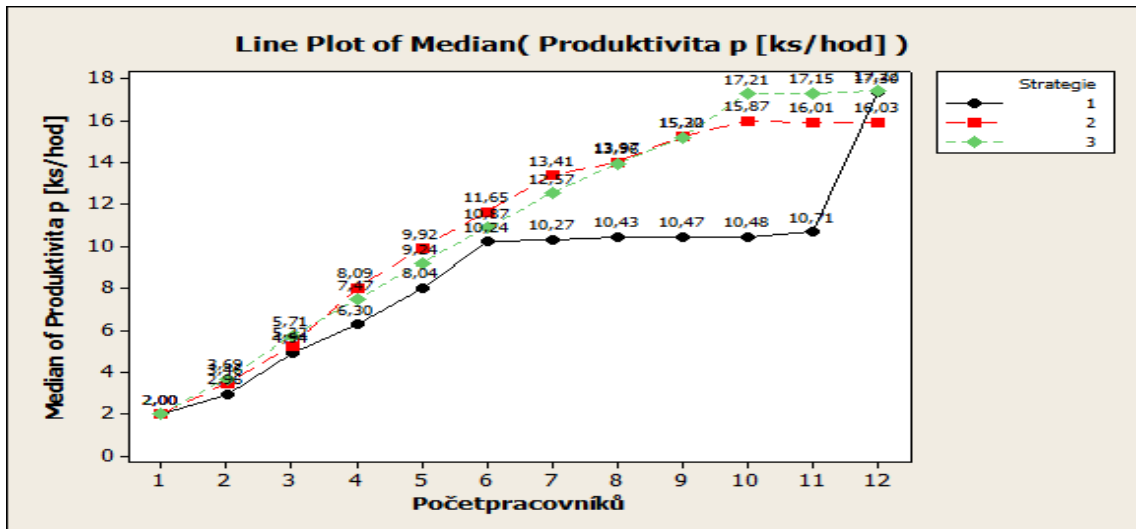
Poslední, 3. blok experimentů potvrdil, že rozdíly mezi strategiemi RC a BB jsou jen malé a že záleží na výkonnosti a pořadí aktuálně zapojené obsluhy.



Graf 9-3 Tetraco Stupeň plnění norem  $\alpha$  podle LQ

Pro společnost Tetraco International, s. r. o., byl nejzajímavější (Graf 9-3). Stupeň plnění norem je v tomto případě vztážen k teoretické celkové vážené průměrné normě spotřeby času stanice přes všechny modely 1,91 min./ks. Proporcionálně je tak možné vnímat propad výkonnosti pro jednotlivá nastavení výrobního systému.





Graf 9-4 Tetraco závislost produktivita podle LQ

Pro úplnost uvádíme také tradiční výstup ukazatele produktivity linky. V (Graf 9-4) je patrná stagnace produktivity u strategie WZ pro 6 až 11 pracovníků.



## 10 ZÁVĚR PRÁCE

Tato práce se zabývá strategiemi obsluhy montážních linek a jejich výběrem. Hlavní motivací této práce je zlepšit stav v oblasti plánování a řízení výroby v SME, kdy se stále používá klasická strategie rozvrhování pracovníků do pracovních zón. Úspěšnost tohoto typu rozvrhování pracovníků je však závislá na řadě charakteristik procesu a ovlivňujících faktorů. Na jedné straně se používá léty vyzkoušená strategie týkající se technologického uspořádání výroby a na straně druhé se uplatňuje řízení a optimalizace moderní, produktově orientované linkové výroby, kdy strategie pracovních zón naráží na své limity. Velký vliv na efektivitu výrobní linky má nejen úroveň jejího vybalancování a schopnosti a dovednosti pracovníků, ale i strategie její obsluhy. V této závěrečné části shrnujeme cíle disertační práce a její teoretické a praktické přínosy a naznačíme směry dalšího výzkumu.

### 10.1 Rekapitulace cílů disertační práce

Hlavním cílem této práce bylo **navržení metodiky pro systematický výběr vhodné strategie obsluhy na víceproduktových montážních linkách v SME.**

Hlavního cíle bylo dosaženo těmito kroky:

#### 1) Analýzou problémů balancování výroby; rozborem používaných metod a přístupů k rozvrhování pracovníků.

Cílem tohoto bodu bylo kategorizovat současné problémy pro účely metodiky a popsat hlavní strategie.

- Na základě třídění problémů v oblasti rozvrhování úkonů na pracovní stanice montážních linek byla provedena kategorizace linek podle jejich charakteristiky.
- Byly popsány současné poznatky o strategiích obsluhy Work zone, Rabbit chase, Bucket brigades a Chacku Chacku a tyto strategie byly doplněny o další poznatky autora. Zmínili jsme také hybridní strategie.
- Pomocí simulačních experimentů jsme ověřili, že při splnění teoretických předpokladů jsou strategie Rabbit chase a Bucket brigades alternativou ke strategii Work zone.

#### 2) Porovnáním hlavních strategií s ohledem na jejich aplikovatelnost.

Cílem této části bylo pokročilé poznání chování tří testovaných One piece flow strategií a to při zohlednění stochastického chování reálných systémů, nekorespondujícího s teoretickými předpoklady pro fungování jednotlivých strategií.

- Nejprve byly vysloveny předpoklady o vlivu hlavních faktorů na chování výrobního systému, a to s ohledem na zvolenou strategii obsluhy linky.
- Rozdíly v adaptabilitě tří vybraných strategií (WZ, RC a BB), byly ověřeny experimentováním na počítačových modelech linky. Ověřena byla především vliv strategií na proměnlivý výkon, na vlivy různé kvalifikace a různého výkonu jednotlivých pracovníků na produkci linky. Adaptabilita strategií při stochastickém chování výrobního procesu.



### 3) Návrh metodiky pro volbu vhodné strategie.

Cílem bylo navrhnout metodiku pro usnadnění rozhodování řídicích pracovníků při zvažování alternativní strategie určené pro rozvrhování a řízení pracovníků na montážní lince.

Metodika byla zpracována formou tabulky hodnotící vybrané strategie z hlediska vhodnosti, v rámci kategorizace linek.

Tento bod byl splněn ve čtyřech krocích,

1. V prvním kroku byly strategie podrobeny analýze omezujících podmínek. Takto vznikla část A vytvořené metodiky.
2. V druhém kroku byly diskutovány výsledky 2. bloku simulačních experimentů, na jejichž základech bylo v třetím kroku provedeno hodnocení strategií
3. V třetím kroku bylo provedeno hodnocení strategií z hlediska dosažené hodnoty účelové funkce. Hlavním kritériem pro určení vhodné strategie byl fond spotřeby času pracovníků, případně Makespan.
4. Posledním krokem byla praktická ukázka postupu práce s metodickou tabulkou, v rámci kapitoly Ověření metodiky v praxi.

### 4) Ověření navržené metodiky systematického výběru strategií v prostředí výrobní praxe na reálných modelech strojírenské výroby.

Cílem bylo ověření navržené metodiky porovnáním s výsledky simulačních experimentů na modelu z výrobní praxe (model reprezentující reálný proces průmyslové praxe).

- Metodika byla prověřena na výrobní lince ve společnosti Tetraco International s.r.o. a simulační studie potvrdila výstupy metodiky. V obou případech byla doporučena změna strategie z WZ na BB. se V rámci metodiky získala strategie BB 120 bodů a strategie WZ pouhých 92 b. Alternativou pak byla strategie RC se 116 bodů. V rámci simulace bylo pro nejčastější obsazení linky dosaženo stupně plnění normy 0,73 pro strategii BB oproti 0,56 pro WZ. Strategie RC dosáhla pro 7 pracovníků stupně plnění časové normy 0,69.
- Strategie byly také testovány ve výrobním provozu a chování výrobního systému odpovídalo očekáváním získaným při analýze podle metodiky. Nakonec byla vytvořena hybridní strategie.

## 10.2 Zhodnocení výsledků pro vědní obor

Teoretické přínosy této disertační práce jsou:

- Byla rozšířena charakteristika reálných problémů v oblasti topologie výrobních linek.
- Byly posouzeny schopnosti strategií WZ, RC a BB splnit zvláštní požadavky definované v rámci topologie linek.
- Vytvořeny byly simulační modely pro zkoumání strategií obsluhy, a to hned pro tři strategie Work zones, Rabbit chase a Bucket brigades.
- Rozšíření poznatků o výkonnostním účinku výrobního systému na faktory v teorii zanedbávané, a to při uplatnění uvedených strategií.



- Sloučený, komplexní model pro strategie WZ, RC a BB je důležitým krokem ke zkoumání hybridních strategií.
- Ověřená byla metodika určná pro usnadnění posuzování výrobního systému z hlediska vhodnosti pro použitou strategii

### 10.3 Zhodnocení výsledků pro praxi

Praktické přínosy této disertační práce:

- Metodika pro výběr vhodné strategie pro průtokové linky s filozofií One piece flow
- Metodika byla ověřena nejen na simulačních modelech, ale také v praxi. Výsledek je doplněn komentářem z praktické zkušenosti.
- Metodika je zároveň nástrojem vhodným pro posouzení kvality současného řešení pro již uplatněnou strategii obsluhy. Nástroj je vhodný pro neustálé zlepšování výrobních procesů.
- Přínosem byl návrh konkrétních technických a organizačních opatření ve společnosti Tetraco International s. r. o. Všechna opatření byla v různém rozsahu implementována.
- Jako důležitý a potřebný byl pracovníky praxe vnímán nástroj pro monitorování výroby, který uvedená společnost dále rozvinula.

### 10.4 Doporučení na pokračování práce v daném tématu a oboru

Prvním směrem dalšího výzkumu vyplývajícím z průběhu ověřování metodiky je modelování a **studium hybridních strategií** obsluhy montážních linek. Současným problémem již není samotná tvorba modelu pro již testované strategie, ale definování podmínek a nastavení, za kterých je vhodné různé varianty přístupu sledovat.

S metodikou úzce souvisí také **vícekritériální hodnocení**. Speciálně v případě, že je-li třeba porovnávat varianty, a to jak z hlediska plnění okrajových podmínek, tak s hlediska kritérií ovlivňujících účelovou funkci. Problematické jsou interakce mezi faktory zařazenými do vícekritériálního hodnocení.

V rámci ověřování metodiky byly identifikovány další oblasti zájmu např. **průběžná změna nastavení v reálném provozu**. jde např. o výměnu směny nebo o náběh nové varianty, průběžnou změnu počtu nebo pořadí pracovníků, o změnu mixu a nebo zařazení krátkých sekvencí.

Zajímavé je **srovnávání strategií One piece flow a Two/Three pieces flow s výrobou v dávkách**, ať výrobních nebo jen transportních. Význam výroby v mixu nebo v „polomixu“ roste v souvislosti s výzvou, jakou je např. Smart factory a další vize, dnes označované jako Industry 4.0.

Autor této práce se zabývá také oblastmi, jako je např. **analýza práce, normování práce, ergonomie a projektování a balancování linek**. Zajímavý je tedy především dopad nedokonalého balancování a dopad různé výkonnosti pracovníků na aktivní spotřebu času jednotlivých pracovníků. Rozdílům těchto časů odpovídá **čekání a vnímání času a procesu obecně**. Příkladem může být frustrace z neustálého čekání a stres z tlaku okolí na rychlost práce, pocit křivdy z nespravedlivého odměňování, demotivace a také dosah v oblasti kvality a v procesu zapracovávání zaměstnanců.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KOBLASA, F., L.S. DIAS a J.A. OLIVEIRA Simulation and possibility of optimization in ERP/APS systems. *Proceedings of 4th annual International conference for Ph.D students and young researches*. Zlín, 2008. ISSN 978-80-7318-663-0.
- [2] IMAI, M. *Temna Kaizen*. Computer Press,a.s, 2005. ISBN 80-251-0850-3.
- [3] ROCHA, Marta, Jose F. OLIVEIRA a Maria Antonia CARRAVILLA. Quantitative Approaches on Staff Scheduling and Rostering in Hospitality Management: An Overview. *American Journal of Operations Research* [online]. 2012, **02**(01), 137-145 [cit. 2016-10-31]. DOI: 10.4236/ajor.2012.21016. ISSN 21608830. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/ajor.2012.21016>
- [4] MAKATUN, Dzmitry, Jérôme LAURET, Hana RUDOVÁ a Michal ŠUMBERA. Planning for distributed workflows: constraint-based coscheduling of computational jobs and data placement in distributed environments. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2015, **608**, 012028- [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.1088/1742-6596/608/1/012028A. ISSN 17426588. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1742-6596/608/i=1/a=012028?key=crossref.5717a2bd3d3b60524956f322cb341736>
- [5] RÜTTIMANN, Bruno G. a Martin T. STÖCKLI Going beyond Triviality: The Toyota Production System—Lean Manufacturing beyond Muda and Kaizen. *Journal of Service Science and Management* [online]. 2016, **09**(02), 140-149 [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.4236/jssm.2016.92018. ISSN 19409893. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/jssm.2016.92018>
- [6] BOUDREAU, John, Wallace HOPP, John O. MCCLAIN a L. Joseph THOMAS. On the Interface Between Operations and Human Resources Management. *Manufacturing & Service Operations Management* [online]. 2003, **5**(3), 179-202 [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.1287/msom.5.3.179.16032. ISSN 15234614. Dostupné z: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/msom.5.3.179.16032>
- [7] SPATH, D. *Ganzheitlich produzieren*. Stuttgart: Innovative Organisation und Führung, 2003. ISBN 3-932298-22-5.
- [8] WILEY, J. a G. SAVENDY *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*. 3rd edition. USA: Institute of Industrial Engineeris, 2001. ISBN 0-471-33057-4.
- [9] MCDONALD, Thomas, Kimberly P. ELLIS, Eileen M. VAN AKEN a C. PATRICK KOELLING Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell. *International Journal of Production Research* [online]. 2009, **47**(9), 2427-2447 [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.1080/00207540701570174. ISSN 00207543. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540701570174>
- [10] KUČERÁK, Dušan. *Chaku - Chaku*. Žilina: Žilina: IPA Slovakia, 2007.
- [11] KJELLSDOTTER IVERT, Linea a Patrik JONSSON. The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning. *Industrial Management & Data Systems* [online]. 2010, **110**(5), 659-681 [cit. **2016-10-29**]. DOI: 10.1108/02635571011044713. ISSN 02635577. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/02635571011044713>



- [12] BIN CHE ANI, Mohd Norzaimi, Aimuni Binti ISMAIL, Shaliza Azreen MUSTAFA a Chin Jeng FENG. Simulation Analysis of Rabbit Chase Models on a Cellular Manufacturing System. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2013, 315, 78-82 [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.315.78. ISSN 16627482. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.315.78>
- [13] HUBBELL, Stephen P., Leslie K. JOHNSON, Eileen STANISLAV, Berry WILSON a Harry FOWLER. Foraging by Bucket-Brigade in Leaf-Cutter Ants. *Biotropica*. 1980, 12(3), 210-213. DOI: 10.2307/2387973. Dostupné také z: <http://www.jstor.org/stable/2387973?origin=crossref>
- [14] BARTHOLDI, J. a D. EISENSTEIN Bucket brigades are used by the ant species: *Messor barbarus* [online]. *University of Chicago, b.r.* [cit. 2006-07-11]. Dostupné z: [www2.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades/case-studies/ants.html](http://www2.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades/case-studies/ants.html)
- [15] BLACK, J.T. a J.C. CHEN *The role of Decouplers in JIT- Pull Apparel Cells*, *International Journal of Clothing Science and Technology*. 1995. ISBN 0955-6222.
- [16] BLUM, Ch. a D. MERKLE *Swarm Intelligence: Introduction and Applications Natural Computing Series*. Springer Science & Business Media, 2008. ISBN 3540740899.
- [17] MEYR, H. *Supply chain planning in the German automotive industry*. *OR Spectrum* 26, 2004.
- [18] SHTUB, A. a E.M. DAR-EL *A methodology for the selection of assembly systems*. *International Journal of Production Research* 27, 1989.
- [19] SCHOLL, A. *Balancing and sequencing assembly lines*. 2nd ed. Heidelberg: Physica, 1999.
- [20] BETANCOURT, Liliana Capacho. *ASALBP: the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem: Formalization and Resolution Procedures*. b.r.. TECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA.
- [21] MATHER, H. *Competitive manufacturing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.
- [22] PINE, B.J. *Mass customization: The new frontier in business competition*. Boston, Mass: Harvard Business School Press, 1993.
- [23] BECKER, C. a A. SCHOLL *A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing*. *European Journal of Operational Research*, 2009.
- [24] TESAŘÍK, Bohumil. *Henry Ford a pásová výroba automobilů*. b.r..
- [25] NEBL, T. a A. DIKOW *Produktivitätsmanagement theoretische Grundlage, methodische Instrumentarium, Analyseergebniss und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierten Unternehmen*. Druckhaus Diesbach GmbH, Weiheim: REFA, 2004. ISBN 3-446-22922-1.
- [26] SALVESEN, M.E. *The Assembly Line Balancing Problem*. *Journal of Industrial Engineering*, 1955.
- [27] BAYBARS, I. *A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem*. *Management Science*, 1986.



- [28] MIRALLES, C., J.P. GARCIA-SABATER, C. ANDRÉS a M. CARDÓS *Advantages of assembly lines in sheltered work centres for disabled*. 2007.
- [29] MIRALLES, C., J.P. GARCIA-SABATER, C. ANDRÉS a M. CARDÓS *Branch and bound pro-cedures for solving the assembly line worker assignment and balancing problem: Application to sheltered work centres for disabled*. *Discrete App Math*, 2008.
- [30] MANLIG, F., P. URBAN a R. HAVLÍK *Optimalizace výrobních procesů pomocí počítačové simulace*. Liberec, 2001. Zpráva k vědeckovýzkumnému záměru. Technická univerzita v Liberci.
- [31] KOČMAN, K. a J. PROKOP *Speciální technologie obrábění*. Brno: VUT v Brně, 2003.
- [32] BECKER, C. a A. SCHOLL A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operations Research, in press: Journal article*. *Enschafft Jenaer Schriften zur Wirtschaftswiss*, 2004.
- [33] DOLEŽAL, Z. *Optimalisace výrobně-montážní linky*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. RNDr. Jindřich Klapka, CSc.
- [34] BECKER, S. a A. SCHOLL *A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing*. *European Journal of Operational Research*, 2006.
- [35] TAKEDA, H. *Das System der Mixed Production veflag moderne industrie*. Landsberg, 1996. ISBN 3-478-91480-9.
- [36] SILVA, Glauco Garcia Martins Pereira da, Dalvio Ferrari TUBINO a Silene SEIBEL. Linhas de montagem: revisão da literatura e oportunidades para pesquisas futuras. *Production* [online]. 2015, **25**(1), 170-182 [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.1590/S0103-65132014005000001. ISSN 01036513. Dostupné z: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132015000100170&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132015000100170&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)
- [37] CONSTANTINO, Ademir Aparecido, Dario LANDA-SILVA, Everton Luiz DE MELO, Candido Ferreira Xavier DE MENDONÇA, Douglas Baroni RIZZATO a Wesley ROMÃO. A heuristic algorithm based on multi-assignment procedures for nurse scheduling. *Annals of Operations Research* [online]. b.r., , - [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.1007/s10479-013-1357-9. ISSN 02545330. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10479-013-1357-9>
- [38] SEKINE, K. *One Piece Flow: Cell Design for Transforming the Production Proces*. Portland: Productivity Press, 1992. ISBN 9781563273254.
- [39] MAŠÍN, I. *Výkladový slovník průmyslového inženýrství a štihlé výroby*. Liberec: Institut technologie a managementu s.r.o., 2005. ISBN 80-903533-1-2.
- [40] DOLCEMASCOLO, D. Achieving One Piece Flow. *EMS Consulting Group* [online]. b.r. [cit. 2006-04-01]. Dostupné z: [www.emsstrategies.com/dd040107article.html](http://www.emsstrategies.com/dd040107article.html)
- [41] MILTENBURG, G. J. a J. WIJNGAARD The U-line Line Balancing Problem. *Management Science* [online]. 1994, **40**(10), 1378-1388 [cit. 2016-11-19]. DOI: 10.1287/mnsc.40.10.1378. ISSN 00251909. Dostupné z:



- <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.40.10.1378>
- [42] BASL, J., P. MAJER a M. ŠMÍRA *Teorie omezení v podnikové praxi: Zvyšování výkonnosti podniku nástroji TOC*. Grada Publishing a.s., 2003. ISBN 80-247-0613-x.
- [43] MIYAKE, D.I. *The Shift from Belt Conveyor Line to Work-cell Based Assembly Systems to Cope with Increasing Demand Variation and Fluctuation in The Japanese Electronics Industrie*. Sao Paulo, 2006. ISBN CIRJE-F-397.
- [44] ZHANG, Wenming a Jochen DEUSE. Cell staffing and standardized work design in Chaku-Chaku production lines using a hybrid optimization algorithm. In: *2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering* [online]. IEEE, 2009, s. 305-310 [cit. 2016-10-29]. DOI: 10.1109/ICCIE.2009.5223901. ISBN 9781424441358. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5223901/>
- [45] BARTHOLDI, J. a D. EISENSTEIN *Bucket-brigade assembly lines* [online]. University of Chicago, b.r. [cit. 2006-07-30]. Dostupné z: [www.2.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades.html](http://www.2.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades.html)
- [46] ARMBRUSTER, D. a E.S. GEL *Bucket Brigades when Worker Speed do not Dominate Each Other Uniformly*. Arizona: Arizona State University Tempe, 2002.
- [47] SCHOLL, Armin. *Balancing and sequencing of assembly lines*. 2nd rev. ed. Heidelberg: Physica-Verlag, 1999. ISBN 9783790811803.
- [48] BUZACOTT, John. Abandoning the moving assembly line: models of human operators and job sequencing. *International Journal of Production Research* [online]. 1990, **28**(5), 821-839 [cit. 2016-11-19]. DOI: 10.1080/00207549008942758. ISSN 00207543. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207549008942758>
- [49] BECKER, Christian a Armin SCHOLL. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* [online]. 2006, **168**(3), 694-715 [cit. 2016-11-19]. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.07.023. ISSN 03772217. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221704004801>
- [50] BANKS, J. *Handbook of Simulation: Principles, Metodology, Advances, Applications, and Praxice*. USA: Engineering & Management Press, 1998. ISBN 0-471-13403-1.
- [51] SAPP, D. *Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)*. Washington: National Institute of Building Sciences, 2009.
- [52] CARSON, Y. a A. MARIA *Simulation Optimalization: Methods and Applications. Winter Simulation Conference*. New York: State University of New York, 1997. ISSN 0-7803-4278-X.
- [53] KŮS, Z., V. GLOBÍKOVÁ a A. HALASOVÁ *Simulace výrobních systémů: Díl 1*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-642-3.
- [54] *Humusoft s.r.o.: Witness 2008 prediktivní technologie pro podporu rozhodování* [online]. 2008 [cit. 2016-10-27]. Dostupné z: [www.humusoft.cz/witness/witnescz.htm#odkaz1](http://www.humusoft.cz/witness/witnescz.htm#odkaz1)



- [55] DLOUHÝ, M., J. FÁBRY, M. KUNCOVÁ a T. HLADÍK *Simulace podnikových procesů. Principy simulace, Simulační programy, Aplikace v MS Excel, Případové studie*. Brno: Computer Press, a.s, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [56] Simulation Software Surway – Input Distribution Fitting. *OR/MS Today* [online]. 2009, (10) [cit. 2010-03-20]. Dostupné z: <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation3.html>
- [57] MANLIG, F. Počítačová simulace výrobních procesů. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, (10), 30-32.
- [58] BARTHOLDI, J.J. a D.D. EISENSTEIN *Chaos and convergence in bucket brigades with finite walk-back velocities*. Atlanta: Operations research, 2007. ISBN 0030-364X.
- [59] MANLIG, F. Počítačová simulace diskretních událostí. *MM Průmyslové spektrum*. 1999, (10), 34-35.
- [60] Simulation Software Surway – Overwiev. *OR/MS Today* [online]. 2009, (10) [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation1.html>
- [61] Simulation Software Surway – Model Building. *OR/MS Today* [online]. 2009, (10) [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation2.html>
- [62] Simulation Software Surway – Optimalization. *OR/MS Today* [online]. 2009, (10) [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation4.html>
- [63] Simulation Software Surway – Pricing. *OR/MS Today* [online]. 2009, (10) [cit. 2010-03-20]. Dostupné z: <http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation6.html>
- [64] DANĚK, J. Prognózování, modelování a simulace v logistice. *Humusoft s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2006-02-25]. Dostupné z: <http://www2.humusoft.cz/witness/ksl>
- [65] KŮS, Z., V. GLOBÍKOVÁ a A. HALASOVÁ *Studijní materiály – Počítačová simulace výroby* [online]. Liberec: KOD FT TUL, 2007 [cit. 2007-02-12]. Dostupné z: [www.kod.tul.cz/info\\_predmety/Psi/prednasky\\_2007/prednaska\\_1\\_PSI.pdf](http://www.kod.tul.cz/info_predmety/Psi/prednasky_2007/prednaska_1_PSI.pdf)
- [66] KEŘKOVSKÝ, M. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Praha: C.H. Beck, 2007. ISBN 80-7179-471-6.
- [67] VIŠŇANSKÝ, Matúš. *Analýza produktivity linek* [online]. 2011. Dostupné také z: <http://www.svetproduktivity.cz/clanek/Analyza-produktivity-linek.htm>
- [68] VAVRUŠKA, Jan. Analysis of an appropriate strategy for scheduling a team-work by computer simulation / Analýza vhodné strategie týmové práce pomocí počítačové simulace. *Vědecká pojednání / Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa*. ACC Journal, 2008, ISSN 1801-1128.

## VLASTNÍ VÝSLEDKY

### Vybrané publikace

- <1> VAVRUŠKA, J.: Strategie rozvrhování obsluhy linky. In *9th Annual International Conference Manufacturing Systems Today and Tomorrow 2015 – Conference proceedings*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. S. S. na. ISBN 978-80-7494-256-3
- <2> VAVRUŠKA, J. – Manlig, F.: Obejdeme se stále bez simulace výrobních systémů?. *Úspěch - produktivita a inovace v souvislostech: časopis pro úspěšné manažery*. Želečovice: API, 2014, roč. 2014, č. 2. ISSN 1803-5183.
- <3> MANLIG, F. – Koblasa, F. – Šlaichová, E. – Pelantová, V. – Vavruška, J.: Education Company – An Experience from the Implementation of Problem Based Learning. In *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 693, s. 477-482. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.693.477. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.693.477> ISSN 1660-9336. Scopus
- <4> MANLIG, F. – ŠLAICHOVÁ, E. – Koblasa, F. – Vavruška, J.: Innovation of Business Processes by Means of Computer-Aided Simulation. In *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 474, s. 67-72. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.474.67. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.474.67> ISSN 1660-9336. Scopus
- <5> VAVRUŠKA, J. – Manlig, F. – Koblasa, F. VSM as a Tool for Mini-Audit of Information System. In *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 474, s. 73-78. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.474.73. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.474.73> ISSN 1660-9336. Scopus
- <6> HAVLIK, R. – Gottwaldová, A. – Vavruška, J.: Application of 3D Scanner for Transportation a CNC Machine Tools. In: *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2014, s. 213-218 [cit. 2015-03-05]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.693.213. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.693.213> ISSN 1662-7482
- <7> DELGADO SOBRINO, D. R. – Košťál, P. – Vavruška, J.: On the Analysis and Customization of an iCIM 3000 System: A take on the Material Flow, its Complexity and a few General Issues to Improve. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 474, s. 42-48. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.474.42. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.474.42> ISSN 1660-9336. Scopus
- <8> MANLIG, F. – Koblasa, F. – Vavruška, J. – Pelantová, V. – Šlajchová, E. – Šimůnova, M.: Educational Company and e-Learning. *Proceedings of the IADIS International Conference of e-Learning 2013*. 2013. ISBN 978-972-8939-88-5
- <9> KOBLASA, F. – Manlig, F. – Vavruška, J.: Evolution Algorithm for Job Shop Scheduling Problem Constrained by the Optimization Timespan. *Applied Mechanics and Materials*. 2013, vol. 309, s. 350-357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.309.350. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMM.309.350> Scopus
- <10> MANLIG, F., – Koblasa, F. – Vavruška, J.: Innovative form of teaching - The Educational Company. *Interdisciplinární vztahy mezi technickými, humanitními a společenskými vědami: Technické, humanitní a společenské*



- vědy: Je možné vést v pedagogickém procesu dialog?. 2013. ISBN 978-80-01-05287-7.
- <11> KOBLASA, F. - Manlig, F. – Vavruška, J.: Evolution Algorithm for Job Shop Scheduling Problem Constrained by the Optimization Timespan. *III. Central European Conference on Logistics (CECOL 2012)* Trnava: AlumniPress, 2012 ISBN 978-80-8096-179-4 Scopus
- <12> VAVRUŠKA J.: Comparison of traditional VSM and VSM analysis based on simulation Parametrs *Sborník příspěvků 13. ročník mezinárodní konference WITNESS 2010*, ISBN 978-80-214-4107-1  
<http://www2.humusoft.cz/www/papers/witkonf10/witness2010-vavruska.pdf>
- <13> VAVRUŠKA, J.: Comparison of traditional VSM and VSM analysis based on simulation parameters. *Sborník příspěvků 13. ročník mezinárodní konference WITNESS 2010*, ISBN 978-80-214-4107-1
- <14> VAVRUŠKA, J.: Comparison of traditional VSM and VSM analysis based on simulation parameters. *POSTERUS.sk, portál pre odborné publikovanie*, 2010 ISSN 1338-0087
- <15> HAVLÍK, R. – Vavruška, J.: Aplikace vícekritériálního hodnocení v modelech počítačové simulace In: *Diskrétní simulace - Teorie a praxe*
- <16> VAVRUŠKA, J – Koblasa, F.: Job shop Scheduling and heuristic optimization. *Materials Science and Technology. Web časopis MTF STU, mimoriadne číslo 2*. Trnava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Materiálovotechnologická fakulta se sípodlem v Trnavě. 2009 ISSN: 1335-9053 [www.mtf.stuba.sk/docs//internetovy\\_casopis/2009/2/obsah1.htm](http://www.mtf.stuba.sk/docs//internetovy_casopis/2009/2/obsah1.htm)
- <17> VAVRUŠKA, J. - Manlig, F. – Koblasa, F.: One piece flow – Caravans, deeper recognition. *Materials Science and Technology. Web časopis MTF STU, mimoriadne číslo 2*. Trnava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Materiálovotechnologická fakulta se sípodlem v Trnavě. 2009 ISSN: 1335-9053 [www.mtf.stuba.sk/docs//internetovy\\_casopis/2009/2/obsah1.htm](http://www.mtf.stuba.sk/docs//internetovy_casopis/2009/2/obsah1.htm)
- <18> VAVRUŠKA, J.: Simple assembly line balancing problem *Konference k 20. Výročí založení KVS, sborník příspěvků*, 2010 ISBN 978-80-7372-622-5
- <19> VAVRUŠKA, J: Tecnomatix Plant simulation training at the Department of Manufacturing Systems. In: *4. ročník mezinárodní konference „Výrobní systémy dnes a zítra 2009“*. *Sborník anotací příspěvků*, Liberec 19. - 20. 11. 2009. Liberec: TU v Liberci - KVS, 2009. ISBN 978-80-7372-541-9.
- <20> VAVRUŠKA J., Lada O.: Benefits of small package in the Manufacturing logistic. In: *4. ročník mezinárodní konference „Výrobní systémy dnes a zítra 2009“*. *Sborník anotací příspěvků*, Liberec 19. - 20. 11. 2009. Liberec: TU v Liberci - KVS, 2009. ISBN 978-80-7372-541-9.
- <21> MANLIG F. – Lada O., Vavruška, J.: Simulation of the manufacturing line. In: *4. ročník mezinárodní konference „Výrobní systémy dnes a zítra 2009“*. *Sborník anotací příspěvků*, Liberec 19. - 20. 11. 2009. Liberec: TU v Liberci - KVS, 2009. ISBN 978-80-7372-541-9.
- <22> VAVRUŠKA, J. – Manlig, F. – Koblasa, F. – Ordorice, M.: Analýza rozvrhování pracovníků a výrokový mix. In: *Sborník příspěvků 12. ročník mezinárodní konference WITNESS 2009*, VUT v Brně 2009. ISBN 978-80-214-3900-9



- <23> VAVRUŠKA J., Manlig, F., Koblasa, F.: One piece flow – Caravans, deeper recognition. In: *International doctoral seminar, Smolenice květen 2009*, ISBN 978-80-8096-088-9
- <24> KOBLASA F., Vavruška J.: Job shop scheduling and heuristic optimization. In: *International doctoral seminar, Smolenice květen 2009*, ISBN 978-80-8096-088-9
- <25> VAVRUŠKA J.: Analyze of Assembly Line with „Moving” Constrained Localities. In: *Recenzovaný sborník abstraktů z Mezinárodní Baťovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2009*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2009. ISBN 978-80-7318-811-5
- <26> VAVRUŠKA, J.: Workers scheduling Strategie modeling. In: *3. ročník mezinárodní konference „Výrobní systémy dnes a zítra 2008“*. Sborník anotací příspěvků, Liberec 27. - 28. 12. 2008. Liberec: TU v Liberci - KVS, 2008. ISBN 978-80-7372-416-0
- <27> VAVRUŠKA, J.: Analysis of an appropriate strategy for scheduling a team-work by computer simulation. *ACC Journal. Vědecká pojednání/Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe* - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XIV, 2008. ISSN 1801-1128
- <28> VAVRUŠKA J., Keller, P., Šafka, J.: Modelování a příprava CNC dat globoidní vačky. In: *Setkání ústavů a kateder výrobních strojů a robotizace. Sborník příspěvků mezinárodní konference*, Vysoké učení technické v Brně. Lednice 9.-10. 9. 2008, ISBN 978-80-214-3723-4
- <29> VAVRUŠKA J.: Capacity balancing in assembling workplaces, *Recenzovaný sborník abstraktů z Mezinárodní Baťovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2008*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2008. ISBN 978-80-7318-663-0
- <30> VAVRUŠKA J.: Problémy plánování a řízení výroby v omezených kapacitách a prostředí malých a středních podniků *Strojírenská technologie, 2008, zvláštní číslo*, s. 106-109. ISSN 1211-4162
- <31> VAVRUŠKA J.: Problémy plánování a řízení výroby v omezených kapacitách a prostředí malých a středních podniků. *2. mezinárodní vědecká konference ICTKI2008*. U.J.E.P., Ústí nad Labem, 2008 ISBN 978-80-7044-969-1
- <32> VAVRUŠKA J.: Analysis of an appropriate strategy for scheduling a team-work by computer simulation / Analýza vhodné strategie týmové práce pomocí počítačové simulace. *ACC Journal. Vědecká pojednání / Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe* - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XIV, 2008. ISSN 1801-1128
- <33> VAVRUŠKA J., Dušáková A., Manlig F.: Podpora rozvrhování výroby pomocí počítačové simulace. *2. mezinárodní vědecká konference ICTKI2008*. U.J.E.P. Ústí nad Labem 2008 ISBN 978-80-7044-969-1
- <34> VAVRUŠKA J.: Rozvrhování výroby na úrovni supervisora. *2. ročník mezinárodní konference „Výrobní systém dnes a zítra“ 2007*, sborník anotací, TU v Liberci 2008. ISBN 978-80-7372-295-1
- <35> VAVRUŠKA, J.; Koblasa, F.; Gottwaldová, A., Vik P.: Innovation and implementation of the information systém at KVS. *Mezinárodní vědecká*





*konference Znalostní ekonomika*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně 2007, ISBN 978-80-7318-646-3

- <36> VAVRUŠKA, J., Koblasa, F.: The constrained production capacities and its planning. *ACC Journal. Vědecká pojednání/ Wissenschaftliche Abhandlungen/ Práce naukowe* - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XIII, 2007.
- <37> VAVRUŠKA, J., Havlík, R., Koblasa, F.: Optimalizace a inovace výrobních procesů. In *Mopp 2007 - Modelování a optimalizace podnikových procesů*, Západočeská univerzita v Plzni, únor 2007, ISBN 978-80-7043-535-9
- <38> VAVRUŠKA, J.; Koblasa, F.: Variety of operation planning and their effect on planning applications. V. *International Scientific Conference Management, Economics and Business development in the new European conditions*. VUT v Brně 2007, s.103. ISBN 978-80-7204-532-7
- <39> VAVRUŠKA, J., Koblasa, F.: Planning concepts and their use in the planning applications. *5. ročník mezinárodní konference Finanční a logistické řízení 2007*. VŠB - Technická univerzita Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1406-3
- <40> VAVRUŠKA, J., Manlig, F., Koblasa, F.: Möglichkeiten der Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Produktionssysteme. In. *ACC Journal, Vědecká pojednání/ Wissenschaftliche Abhandlungen/ Práce naukowe* - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. TU v Liberci, duben 2007, s. 89-92 ISBN 978-80-7372-195-4
- <41> VAVRUŠKA, J., Koblasa, F.: The contributions of APS and simulation in the production planning. *Mezinárodní Baťovy doktorské konference Recenzovaný sborník abstraktů z konference studentů doktorského studijního programu*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2007. ISBN 978-80-7318-529-9
- <42> VAVRUŠKA, J., Havlík, R., Koblasa, F., Manlig, F., Vik, P.: Zlepšování a optimalizace podnikových procesů . In: *Výrobní systémy dnes a zítra. Sborník anotací příspěvků odborného setkání*, Liberec 14.-15.12.06. TUL – KVS, Liberec: 2006, ISBN 80-7372-159-7
- <43> VAVRUŠKA, J., Manlig, F.: Grantový projekt z oblasti rozvoje lidských zdrojů na KVS. In: *Výrobní systémy dnes a zítra. Sborník anotací příspěvků odborného setkání*, Liberec 14.-15.12.06. TUL – KVS, Liberec: 2006, ISBN 80-7372-159-7
- <44> VAVRUŠKA, J., Manlig, F.: Podpora rozhodování pomocí počítačové simulace. In: *Výrobní systémy dnes a zítra. Sborník anotací příspěvků odborného setkání*, Liberec 14.-15.12.06. TUL – KVS, Liberec: 2006, ISBN 80-7372-159-7
- <45> VAVRUŠKA, J., Koblasa, F.: The use of simulation in the workshop planning area. *ACC Journal. Vědecká pojednání/ Wissenschaftliche Abhandlungen/ Práce naukowe* - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XII, 2006. s. 322-328, ISSN 1801-1128
- <46> VAVRUŠKA, J.: Zavádění systému KANBAN. *ACC Journal. Vědecká pojednání/Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe* - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XII, 2005. ISSN 1801-1128

## Citace

Původní dokument

Citace v díle

VAVRUŠKA, J.: Analysis of an appropriate strategy for scheduling a team-work by computer simulation / Analýza vhodné strategie týmové práce pomocí počítačové simulace. *ACC Journal. Vědecká pojednání / Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XIV, 2008. ISSN 1801-1128*

ORDORICA, M. V.: Universidad del país Vasco, Spain. Analysis and design of Manufacturing lines and different strategies for organizing Team works, 2009. *Master Thesis*

VAVRUŠKA, J. – Manlig, F.: Podpora rozvrhování pomocí počítačové simulace. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. *Výrobní systémy dnes a zítra 2006. ISBN 80-7372-156-7*

EDL, Milan: Metody a nástroje analýzy výrobních procesů v prostředí digitálního podniku. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009. *Habilitační práce pro obor Strojní inženýrství*

VAVRUŠKA, J. – Havlík, R., Koblasa, F., Manlig, F., Vik, P.: Zlepšování a optimalizace podnikových procesů . In: *Výrobní systémy dnes a zítra. Sborník anotací příspěvků odborného setkání*, Liberec 14.-15.12.06. TUL – KVS, Liberec: 2006,ISBN 80-7372-159-7

EDL, M.: Metody a nástroje analýzy výrobních procesů v prostředí digitálního podniku. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009. *Habilitační práce pro obor Strojní inženýrství*

VAVRUŠKA, J.: Problémy plánování a řízení výroby v omezených kapacitách a prostředí malých a středních podniků Strojírenská technologie, 2008, zvláštní číslo, s. 106-109. ISSN 1211-4162

PLECHAČ, R.: Rozvrhování dílenských zakázek s podporou počítačové simulace, Technická univerzita v Liberci,FS KVS, 2010. *Sborník příspěvků 13. ročník mezinárodní konference WITNESS 2010*, ISBN 978-80-214-4107-1

VAVRUŠKA, J., Koblasa F.: The contributions of APS and simulation in the production planning. *Mezinárodní Baťovy doktorské konference Recenzovaný sborník abstraktů z konference studentů doktorského studijního programu*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2007. ISBN 978-80-7318-529-9

MANLIG, F.: Simulationgestützte reihenfolgeplanung. *ACC Journal. Vědecká pojednání/Wissenschaftliche Abhandlungen/Práce naukowe - Akademické koordinační středisko v Euroregionu Nisa. r. XIV, 2008. ISSN 1801-1128*



VAVRUŠKA, J.; Dušáková, A. ; Manlig, F.: Simulation aided Scheduling of manufacturing, 2nd International scientific conference : New technology and knowledge, University in Ústi nad Labem. 2008, ISBN 978-80-7044-969-1

KOBLASA, F., Dias L.S., Oliveira J.A.: Simulation and possibility of optimization in ERP/APS systems". In:*Proceedings of 4th annual International conference for Ph.D students and young researches*, 2010. April 2008, ISBN 978-80-7318-663-0.

### **Zvláštní ocenění**

Awards „BEST POWERPOINT PRESENTATION“ (IDS 2009)

Martensitic Stainless Steel

VAVRUŠKA, J. - MANLIG, F. - KOBLASA, F.(TU Liberec- ČR).:

One piece flow - Strategies, deeper recognition

## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha A Typy linek v rámci GABLP**

**Příloha B Ukázka tabulek v rámci datové základny**

**Příloha C Ukázka reportu simulačních experimentů**



## Příloha A Typy linek v rámci GABLP

Charakteristiky priorit grafu	
<b>Specifikace produkce <math>\alpha 1 = \{mix, mult, o\}</math></b>	
$\alpha 1 = mix$	Model s výrobním mixem ( <b>mixed-model</b> )
$\alpha 1 = mult$	Model s výrobou více modelů v dávkách ( <b>multi-model</b> )
$\alpha 1 = o$	Model s jedním produktem ( <b>Single-model</b> )
<b>Struktúra prioritního grafu <math>\alpha 2 = \{spec, o\}</math></b>	
$\alpha 2 = spec$	Prioritní grafy se <b>speciální</b> strukturou
$\alpha 2 = o$	Prioritní grafy s acyklickou strukturou
<b>Procesní časy <math>\alpha 3 = \{t-sto, t-dy, o\}</math></b>	
$\alpha 3 = t-sto$	<b>Stochastické</b> procesní časy
$\alpha 3 = t-dy$	<b>Dynamické</b> procesní časy (efekt učení se)
$\alpha 3 = o$	<b>Statické</b> a deterministické procesní časy
<b>Závislost časů úkonů na jejich sekvenci <math>\alpha 4 = \{dt-dir, dt-ind, o\}</math></b>	
$\alpha 4 = dt-dir$	Přímé ( <b>directly</b> ) přírůstky času v téže stanici (výměna nástroje, přeupnutí)
$\alpha 4 = dt-ind$	Nepřímé ( <b>indirect</b> ) přírůstky času mezi stanicemi (přecházení operátora)
$\alpha 4 = o$	Přírůstky času dle sekvence úkonů nejsou brány v potaz
<b>Omezení přiřazování úkonu na stanici <math>\alpha 5 = \{link, inc, cum, fix, excl, type, min, max, o\}</math></b>	
$\alpha 5 = link$	Podmnožiny úkonů jsou spojeny ( <b>linked</b> ) tak, že musí být přiřazena do stejné stanice, např. využívají stejný zdroj, který nelze duplikovat.
$\alpha 5 = inc$	Podmnožiny úkolů jsou neslučitelné ( <b>incompatible</b> ), a nesmí být přiřazena do stejné stanice, například proto, že úkoly ruší navzájem (vtání a měření)
$\alpha 5 = cum$	Přiřazení úkolů na stanici podléhá omezení kumulativní hodnotě ( <b>cumulated value</b> ) nějakého atributu úkolu např. omezený prostor pro skladování materiálů
$\alpha 5 = fix$	Některé úkoly musí být přiřazeny ( <b>fixed</b> ) ke konkrétní - samostatné stanici, např. zdroj nelze přesunout při rekonfiguraci linky
$\alpha 5 = excl$	Některé úkoly nesmí být přiřazena k samostatné stanici, např. protože potřebné prostředky, nemohou být nainstalovány.
$\alpha 5 = type$	Některé úkoly musí být přiřazena do stanice z určitého <b>typem vybavení</b> , např. polohovací přípravek
$\alpha 5 = min$	Mezi úkony musí být <b>minimální</b> časová prodleva, např. sušení barvy.
$\alpha 5 = max$	Mezi úkony může být <b>maximální</b> časová prodleva, např. aby nezaschlo lepidlo.
$\alpha 5 = o$	<b>Bez omezení</b> pro přiřazení úkonů nejsou brána v potaz
<b>Alternativní možnosti zpracování <math>\alpha 6 = \{pa \lambda = o, pa \lambda = prec, pa \lambda = subgraph, o\}</math></b>	
$\alpha 6 = pa \lambda$	Zpracování <b>alternativ se odliší jen v dobách zpracování a nákladech</b> (time-cost trade-off).
$\alpha 6 = pa \lambda \text{ prec}$	Zvolená alternativa má vliv nejen na čas a náklady, ale i <b>precedenční</b> vztahy mezi úkoly.
$\alpha 6 = pa \lambda \text{ subgraph}$	Zpracování alternativy mění kompletní části výrobního procesu, takže celé podgrafy ( <b>subgraph</b> ) jsou nahraditelné
$\alpha 6 = o$	Zpracování alternativ není bráno v potaz
Charakteristiky stanic a linky	
<b>Pohyb zpracovávaného dílce: <math>\beta 1 = \{o \lambda \theta, unpac \lambda\}</math></b>	
$\beta 1 = o \lambda \theta$	Tempo linky, takt linky omezuje čas stanice
$\lambda = o$	<b>Průměrný</b> čas cyklu stanice přes všechny modely je omezen na dobu cyklu
$\lambda = each$	<b>Každý</b> jednotlivý model musí striktně dodržet čas cyklu na stanici (mixed / multi line)
$\lambda = prob$	Doba cyklu musí být splněna s danou pravděpodobností <b>probability</b> , nebo poměru mixu
$\theta = o$	Všechny stanice a všechny modely mají <b>globální čas cyklu</b>
$\theta = div$	(lokálně) se časy cyklů liší ( <b>diverge</b> ) pro stanice nebo modely
$\beta 1 = unpac \lambda$	Netaktované linky čas cyklu není dán, po dokončení se posune díl na další stanici
$\lambda = o$	Asynchronní linky, přesun na další stanici nebo vyrovnávacího zásobníku
$\lambda = sync$	Synchronizace přesun na další pozice po dokončení činnosti na všech stanicích
<b>Layout linky: <math>\beta 2 = \{o, u\lambda\}</math></b>	
$\beta 2 = o$	Stanice jsou uspořádány sériovým způsobem po proudu linky
$\beta 2 = u\lambda$	U linky (U-buňky) s možností přecházet na druhou stranu
$\lambda = o$	Linku tvoří jediný segment ve tvaru U
$\lambda = n$	Linka se skládá z více segmentů ve tvaru písmene U
<b>Parallelization: <math>\beta 3 = \{PLINE \lambda, pstat \lambda, ptask \lambda, pwork \lambda, o\}</math></b>	
$\beta 3 = PLINE \lambda$	Paralelní linky např. pravá a levá strana se finální montáží
$\beta 3 = pstat \lambda$	Paralelní stanice, paralelní stanice se pravidelně střídají
$\beta 3 = ptask \lambda$	Paralelní úkony přiřazen k více než jedné stanici (štafetové území)
$\beta 3 = pwork \lambda$	Několik pracovních míst (lidí, robotů) provádí plánované sekvence činnosti aniž by si překáželi
$\beta 3 = o$	Nic se neděje paralelně
<b>Přiřazení zdroje: <math>\beta 4 = \{equip, res\lambda, o\}</math></b>	
$\beta 4 = equip$	Zařízení (equip) - problémy kombinované s výběrem / určením (nového) zařízení / stroje (assembly line design problem)
$\beta 4 = res\lambda$	Výběr zařízení z předurčených alternativ, snaha o sdílení zdrojů (min investic)
	$\lambda = 0$ stroj je vybrán vyžaduje-li ho min. jedna jiná úloha
	$\lambda = max$ výběr zařízení splňujícího max. poptávku. Zjišťují se náklady a požadavky např. kvalifikace
	$\lambda = o$ Stroj je navrhován na míru za účelem synergie, pro více úloh
$\beta 4 = o$	Zdroje nejsou požadovány, ale mohou být omezení práce a alternativ ( $\alpha 5$ )
<b>Časové cykly stanice jsou závislé na: <math>\beta 5 = \{\Delta t UNP, o\}</math></b>	
$\beta 5 = \Delta t UNP$	Dyn. Podíl neproduktivních činností např. přesun dílu, změna strany u-linky
$\beta 5 = o$	Přírůstek na neproduktivních činnostech se zanedbává
<b>Další aspekty konfigurace linky: <math>\beta 6 = \{buffer, feeder, mat, change, o\}</math></b>	
$\beta 6 = buffer$	Mezisklady (buffer) jsou povinné a musejí být dimenzovány
$\beta 6 = feeder$	Podavače (feeder) vedlejší linky vyžadují simultánní koordinaci - rozdělení úkolů a doby cyklu
$\beta 6 = mat$	Je nutné definovat logistiku a zásobování (boxy, kapacity, umístění, zavážení)
$\beta 6 = change$	Požadavky na manipulaci / změnu polohy, manipulátory a polohovadla (dowbavení stanice)
$\beta 6 = o$	Žádné další aspekty konfigurace linky nejsou uvažovány
Cíle balancování a rozvrhování	
<b>Cíle <math>y = \{m, c, E, Co, Pr, SSL, score, o\}</math></b>	
$y = m$	Minimalizace <b>m</b> počtu stanic (pracovišť/pracovníků) pro dané C
$y = c$	Minimalizovat čas cyklu <b>C</b> , nebo maximalizovat rychlost výroby pro určitý počet stanic m
$y = E$	Maximalizace <b>E</b> efektivity - účinnost linky pro dané c nebo m
$y = Co$	Minimalizace ( <b>cost</b> ) nákladů pro daný výstup cíl
$y = Pr$	Maximalizovat zisk ( <b>profit</b> ), který je definován jako rozdíl mezi příjmy a náklady (závisí na rychlosti výroby, a tím i na dobu cyklu a počtu stanic)
$y = SSL$	časy stanice by měly být vyhlazeny ( <b>smoothing</b> )
	$y = SSL-stat$ Horizontální vyhlazení (Alternativy mají stejný čas na stanicích)
	$y = SSL-line$ Vertikální vyhlazení (Všechny stanice na lince mají stejný čas cyklu)
$y = score$	Cílem je minimalizovat nebo maximalizovat nějaký kompozitní <b>skóre</b> . Např. minimalizovat počet změn polohy obrotku
$y = o$	Hledá se pouze <b>proveditelné</b> řešení bez optimalizace

## Příloha B Ukázka tabulek v rámci datové základny

Počet pracovníků LQ

Počet pracovníků	Hodnota LQ
1	1
2	2
...	....
12	12

Počet úrovní 12

Typ strategie Stra

Strategie	Hodnota Stra
Work zone	1
Rabbit chase	2
Bucket brigades	3

Počet úrovní 3

Sekvence a složení produkce – MS

Typ poptávky	Zastoupení poptávky (celkem 500ks)	Hodnota MS
Výrobní mix (%)	P01 50%, P02 30%, P03 20%	1
Výrobní mix (%)	P01 80%, P02 15%, P03 5%	2
Multi-model (ks)	P01 5 ks, P02 3 ks, P03 2 ks	3

Počet úrovní 3 (\*Pozn. pomocí MT je tvořena single line)

Zpracovanost/ výkonnost pracovníků – MX

6	stroj1	stroj2	stroj3	stroj4	stroj5	stroj6	stroj7	stroj8	stroj9	stroj10	stroj11	stroj12
Pr1	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%	130%
Pr2	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%	120%
Pr3	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%	110%
Pr4	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Pr5	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Pr6	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Pr7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr11	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pr12	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Počet úrovní 5 (počet datových tabulek 60)

Časové normy MT

Tetraco	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
P01	1.88	1.88	1.25	1.16	1.53	1.46	1.26	1.63	1.31	1.20	2.46	1.46
P02	1.88	0.98	1.96	1.86	1.53	1.93	2.68	3.30	3.03	1.20	2.46	1.46
P03	1.88	0.98	3.26	3.06	3.53	4.25	3.61	3.43	2.88	1.20	2.46	1.46

Počet úrovní MT 5 (počet tabulek 5)

## Přechodová matice – MP (tvar linky I/L)

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
M01	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
M02	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
M03	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25
M04	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
M05	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75
M06	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
M07	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25
M08	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
M09	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75
M10	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50
M11	2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25
M12	2.75	2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00

## Přechodová matice – MP (tvar linky O/U)

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
M01	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25
M02	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5
M03	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75
M04	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1
M05	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25
M06	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
M07	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
M08	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75	1
M09	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5	0.75
M10	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25	0.5
M11	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0	0.25
M12	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0

## Počet úrovní 4 (Tabulek 4)

## Opakovatelnost (ruční práce)

Typ poptávky	Zastoupení poptávky (celkem 500ks)	Hodnota MO
Pevná norma	Pevná norma T	1
Trojúhelníkové rozdělení	Triangle (0.7*T, T, 1.3*T)	2
Trojúhelníkové rozdělení	Triangle (0.9*T, T, 1.1*T)	3

## Počet úrovní 3

## Hodnota setu stream pseudonáhodných čísel – ME

Stream	Sub-stream 1	Sub-stream 2	Hodnota ME
189	17	9	1
...	...	...	...
732	31	7	1280

## Počet úrovní 1280

## Počet replikací – MR

Pořadové číslo opakování experimentu (Počet min 1 /10)



## Příloha C Ukázka reportu simulačních experimentů

Strn.Val	MP.Val	LQ.Val	MO.Val	MS.Val	MT.Val	MR.Val	MX.Val	ME.Val	Objecti	Objecti
1	2	1	1	1	1	1	1	1	12782	12782
2	2	1	1	1	1	1	1	2	12782	12782
3	2	1	1	1	1	1	1	3	12782	12782
1	2	2	1	1	1	1	1	4	12662	6331
2	2	2	1	1	1	1	1	5	12784	6392
3	2	2	1	1	1	1	1	6	12662	6331
1	2	3	1	1	1	1	1	7	12543	4181
2	2	3	1	1	1	1	1	8	12750	4250
3	2	3	1	1	1	1	1	9	12531	4177
1	2	4	1	1	1	1	1	10	12420	3105
2	2	4	1	1	1	1	1	11	12788	3197
3	2	4	1	1	1	1	1	12	13088	3272
1	2	5	1	1	1	1	1	13	15245	3049
2	2	5	1	1	1	1	1	14	12790	2558
3	2	5	1	1	1	1	1	15	13250	2650
1	2	6	1	1	1	1	1	16	12192	2032
2	2	6	1	1	1	1	1	17	12774	2129
3	2	6	1	1	1	1	1	18	13560	2260
1	2	7	1	1	1	1	1	19	14224	2032
2	2	7	1	1	1	1	1	20	12768	1824
3	2	7	1	1	1	1	1	21	13503	1929
1	2	8	1	1	1	1	1	22	16264	2033
2	2	8	1	1	1	1	1	23	12768	1596
3	2	8	1	1	1	1	1	24	13760	1720
1	2	9	1	1	1	1	1	25	18288	2032
2	2	9	1	1	1	1	1	26	12771	1419
3	2	9	1	1	1	1	1	27	13806	1534
1	2	10	1	1	1	1	1	28	20010	2001
2	2	10	1	1	1	1	1	29	12800	1280
3	2	10	1	1	1	1	1	30	14490	1449
1	2	11	1	1	1	1	1	31	21010	1910
2	2	11	1	1	1	1	1	32	12804	1164
3	2	11	1	1	1	1	1	33	13387	1217
1	2	12	1	1	1	1	1	34	11472	956
2	2	12	1	1	1	1	1	35	12192	1016
3	2	12	1	1	1	1	1	36	11460	955

1	4	1	2	1	4	1	4	3421	14466	14466
2	4	1	2	1	4	1	4	3422	14481	14481
3	4	1	2	1	4	1	4	3423	14470	14470
1	4	2	2	1	4	1	4	3424	18102	9051
2	4	2	2	1	4	1	4	3425	14918	7459
3	4	2	2	1	4	1	4	3426	15678	7839
1	4	3	2	1	4	1	4	3427	16890	5630
2	4	3	2	1	4	1	4	3428	15819	5273
3	4	3	2	1	4	1	4	3429	17010	5670
1	4	4	2	1	4	1	4	3430	16528	4132
2	4	4	2	1	4	1	4	3431	15472	3868
3	4	4	2	1	4	1	4	3432	16700	4175
1	4	5	2	1	4	1	4	3433	18510	3702
2	4	5	2	1	4	1	4	3434	15700	3140
3	4	5	2	1	4	1	4	3435	16845	3369
1	4	6	2	1	4	1	4	3436	16398	2733
2	4	6	2	1	4	1	4	3437	15942	2657
3	4	6	2	1	4	1	4	3438	16974	2829
1	4	7	2	1	4	1	4	3439	18018	2574
2	4	7	2	1	4	1	4	3440	15414	2202
3	4	7	2	1	4	1	4	3441	16555	2365
1	4	8	2	1	4	1	4	3442	20328	2541
2	4	8	2	1	4	1	4	3443	15768	1971
3	4	8	2	1	4	1	4	3444	16448	2056
1	4	9	2	1	4	1	4	3445	22212	2468
2	4	9	2	1	4	1	4	3446	16056	1784
3	4	9	2	1	4	1	4	3447	17244	1916
1	4	10	2	1	4	1	4	3448	23080	2308
2	4	10	2	1	4	1	4	3449	16340	1634
3	4	10	2	1	4	1	4	3450	16180	1618
1	4	11	2	1	4	1	4	3451	20284	1844
2	4	11	2	1	4	1	4	3452	17270	1570
3	4	11	2	1	4	1	4	3453	15906	1446
1	4	12	2	1	4	1	4	3454	17772	1481
2	4	12	2	1	4	1	4	3455	18948	1579
3	4	12	2	1	4	1	4	3456	18168	1514