

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ
A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS
AND ROBOTICS

PŘÍSPĚVEK K PROBLEMATICE REDUKCE
PRŮBĚŽNÝCH DOB VE VÝROBNÍCH SYSTÉMECH

APPROACH TO REDUCING LEAD TIME IN MANUFACTURING SYSTEMS

DIZERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ING. IVANA SIMEONOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

BRNO 2015

DOC. ING. RADEK KNOFLÍČEK, DR.

Abstrakt

Předkládaná dizertační práce má za cíl rozpracování metodologií a nových přístupů pro redukci průběžných dob ve výrobních systémech. Práce se tedy detailně zabývá návrhem nových komplexních přístupů pro zkracování průběžných dob. V dizertační práci je popsána metodologie využití těchto přístupů ve výrobních systémech, je navrženo jejich zařazení do řídicí struktury výrobního podniku a rozpracována odpovídající manažerská podpora pro úspěšnou aplikaci těchto nových přístupů do průmyslu.

První část práce shrnuje aktuální poznatky z oblasti redukce průběžných dob. Jsou definovány a popsány jednotlivé metody, které mohou být pro redukci průběžných dob využity, z nichž je vybrána simulace diskrétních výrobních systémů jakožto vhodná metoda pro účely rozpracování problematiky. Další část práce se proto věnuje simulačnímu přístupu k problematice redukce průběžných dob a faktorům, které je ovlivňují, jako například procesní čas, velikost výrobní dávky, délky front atd. V této části práce je také diskutováno využití informačních technologií (programovací jazyky, knihovny a softwarové nástroje), které umožňují efektivní tvorbu simulačních modelů.

Druhá část práce je zaměřena na průmyslové aplikace realizované za účelem redukce průběžné doby výroby. Konkrétní simulační analýzy se zabývají například redukcí průběžné doby pro výrobu chirurgických nástrojů, šroubů, lamel, ale i transportních systémů, optimalizací vstupu výrobních příkazů do výrobního systému, problematikou zásobování atd. V druhé části práce je také popsán praktický přístup k transferu dat do/z simulačního modelu, připojení simulačního SW na databázi ERP podniku a energetická náročnost výroby.

Závěr práce shrnuje poznatky, které byly zjištěny ohledně problematiky redukce průběžných dob, a v rámci zvolené metodiky simulace výrobních procesů naznačuje další postup možný v oblasti výzkumu i praktického využití.

Klíčová slova

Průběžná doba, diskrétní výrobní systém, simulace výroby, úzké místo, optimalizace výroby

Abstract

Presented PhD thesis aims at development of new methodologies and approaches to reduce lead times in production systems. Therefore the thesis examines in detail the design of new, more comprehensive approaches to shortening lead times. The dissertation describes the methodology of using these approaches in production systems, it is suggested their inclusion in the control structure of production and adequate managerial support for the successful application of these new approaches in the industry is developed.

The first part summarizes current knowledge in the field of reducing lead times. The various methods that can be used for reducing lead times are defined and described, from which is selected discrete simulation of manufacturing systems as a suitable method for the purposes of issue development. The next part of this work is therefore devoted to simulation approach to reducing lead times and the factors that affect them, such as processing time, size of the batch, queue lengths, etc. In this part is also discussed the use of information technologies (programming languages, libraries, and software tools) that enable efficient creation of simulation models.

The second part is focused on industrial applications implemented to reduce production lead times. Specific simulation analysis deal with, for example, reduction of the lead time for manufacture of surgical instruments, screws, slats, but also transport systems, optimization of production orders input to the production system, the issue of supply, etc. The second part also describes a practical approach to data transfer to / from the simulation model, simulation software connection to the ERP database of enterprise and energy intensity of production.

The conclusion summarizes the findings that were detected on the issue of reducing lead times, and within the chosen methodology, simulation of manufacturing processes indicates possible further progress in the research and practical applications.

Key words

Lead time, discrete manufacturing system, simulation of production, bottleneck, optimization of production

Bibliografická citace

SIMEONOVÁ, Ivana. *Příspěvek k problematice redukce průběžných dob ve výrobních systémech*. Brno, 2015. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala svému školiteli a vedoucímu dizertační práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za odborné vedení a cenné rady při tvorbě dizertační práce. Poděkování patří rovněž mým rodičům a rodině za podporu, kterou mi nejen během zpracovávání dizertační práce, ale i celého vysokoškolského studia poskytovali. Zvláště děkuji firmě Taurid Ostrava s.r.o. za podporu při řešení dizertační práce a možnost spolupracovat s výrobními podniky. Poděkování také patří mé kamarádce Pavlínce a partnerovi Pavlovi za trpělivost a pochopení.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto dizertační práci vypracovala samostatně na základě doposud získaných znalostí, odborných konzultací a s využitím dostupné literatury a dalších podkladů uvedených v této práci.

V Brně dne

Ing. Ivana Simeonovová

OBSAH

1 ÚVOD.....	10
2 CÍL DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	11
3 STRUKTURA DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	12
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
4.1 Definice pojmů souvisejících s problematikou	13
4.2 Redukce průběžné doby	16
4.3 Typy průběžných dob.....	17
4.4 Význam redukce průběžné doby	18
4.5 Metody redukce průběžné doby	18
4.5.1 Plánování a rozvrhování výroby	19
4.5.2 Porovnání různých přístupů k plánování a rozvrhování výroby.....	19
MRP I a MRP II.....	19
APS	19
4.5.3 Redukce hladiny rozpracované výroby	20
4.5.4 Just-in-Time	22
4.5.5 Autonomní pracoviště nebo také „dej strojům inteligenci“	23
4.5.6 Kanban.....	23
4.5.7 Poka-Yoke	24
4.5.8 Optimized Production Technology.....	25
4.5.9 Teorie úzkých míst.....	26
4.5.10 Heijunka.....	29
4.5.11 Metoda 5S	29
4.5.12 Metoda 7S	30
4.5.13 Simulace výroby.....	32
5 SIMULACE DISKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ	36
5.1 Úvod do problematiky modelování a simulace diskrétních výrobních systémů	36
5.2 Koncepty modelování	37
5.3 Klíčové indikátory výkonnosti.....	40
5.4 Výhody a nevýhody simulačního přístupu.....	40
5.4.1 Výhody simulace	41
5.4.2 Nevýhody simulace.....	42
5.5 Kompenzace nevýhod simulace.....	42
5.6 Kroky simulační studie	43
6 NAVRHOVANÝ PŘÍSTUP ŘEŠENÍ	47
6.1 Zvolené metody zpracování a důvody volby simulačního přístupu	47
6.2 Obecný přístup k redukci průběžné doby	48
6.2.1 Cíle analýzy redukce průběžné doby.....	48

6.2.2	<i>Příklad obecného přístupu k redukci průběžné doby</i>	48
6.2.3	<i>Postup při redukci průběžné doby</i>	49
6.2.4	<i>Grafická prezentace procesu za využití tabulky</i>	53
6.2.5	<i>Grafická prezentace procesu za využití simulačního modelu</i>	54
6.3	<i>Metodika použití simulačního přístupu pro redukci průběžné doby</i>	55
6.3.1	<i>Analýza stavu výrobního systému za účelem aplikace simulačních metod</i>	55
6.3.2	<i>Simulační analýza faktorů ovlivňujících výrobní průběžné doby</i>	62
	<i>Vliv procesních časů na průběžné doby (MTP, MTTO)</i>	65
	<i>Redukce variability procesního času</i>	66
	<i>Vliv velikosti výrobních dávek na průběžné doby výroby</i>	66
	<i>Vliv výrobních dávek, transportních dávek a transportního zdržení na průběžné doby výroby</i>	71
	<i>Vliv seřizovacích časů na průběžné doby výroby</i>	74
	<i>Vliv délky front na průběžné doby výroby</i>	77
	<i>Vliv variability procesů na průběžné doby výroby</i>	77
	<i>Vliv vytížení zdroje na průběžné doby výroby</i>	80
7	SW PODPORA TVORBY SIMULAČNÍCH MODELŮ VÝROBY ZA ÚČELEM REDUKCE PRŮBĚŽNÝCH DOB	82
7.1	<i>Přehled simulačních prostředků</i>	82
7.1.1	<i>Simulační programovací jazyky a knihovny</i>	82
7.1.2	<i>Simulační softwarové nástroje</i>	83
7.2	<i>Výběr vhodného simulačního nástroje</i>	86
7.2.1	<i>Využití nástroje Plant Simulation k redukci průběžných dob výroby</i>	86
7.2.2	<i>Simulace výrobní linky za účelem redukce průběžných dob</i>	86
8	PRŮMYSLOVÉ APLIKACE SIMULAČNÍHO PŘÍSTUPU ZA ÚČELEM REDUKCE PRŮBĚŽNÉ DOBY VÝROBY	89
8.1	<i>Simulace průmyslové aplikace redukce průběžné doby pro výrobu chirurgických nástrojů</i>	89
8.1.1	<i>Popis výrobního systému</i>	89
8.1.2	<i>Verifikace a validace simulačního modelu</i>	90
8.1.3	<i>Analýza počátečního stavu výrobního systému</i>	91
8.1.4	<i>Návrh na řešení odstranění úzkých míst výroby</i>	92
8.1.5	<i>Souhrn dosavadních výsledků</i>	93
8.2	<i>Simulační analýza výrobního systému lamel</i>	94
8.2.1	<i>Určení modelu</i>	94
8.2.2	<i>Metodika práce</i>	95
8.2.3	<i>Popis simulačního modelu</i>	95
8.2.4	<i>Verifikace a validace simulačního běhu</i>	99
8.2.5	<i>Zobecněný postup při analýze úzkých míst</i>	99
8.2.6	<i>Analýza a optimalizace výrobního systému z hlediska využití zdrojů</i>	101
8.2.7	<i>Výsledky analýzy výrobního systému z hlediska využití zdrojů</i>	101
8.3	<i>Simulační model transportu disků</i>	102

8.3.1	<i>Popis výrobního systému</i>	102
8.3.2	<i>Alternativy simulačního modelu</i>	103
8.3.3	<i>Výstupy alternativ simulačního modelu</i>	105
8.4	Simulační model transportu polotovarů na mořící lince.....	106
8.5	Simulační model výrobního systému s manipulátory a meziskladem	108
8.5.1	<i>Popis výrobního systému</i>	108
8.5.2	<i>Návrh simulačního modelu</i>	109
8.5.3	<i>Výsledky simulace základní alternativy</i>	109
8.5.4	<i>Alternativy simulačního modelu</i>	110
8.5.5	<i>Souhrn</i>	112
8.6	Simulační model montážní linky	112
8.6.1	<i>Popis výrobního systému</i>	113
8.6.2	<i>Alternativy simulačního modelu</i>	113
8.6.3	<i>Zhodnocení alternativ</i>	114
8.6.4	<i>Souhrn</i>	116
8.7	Optimalizace vstupu výrobních příkazů do výrobního systému	116
8.7.1	<i>Popis simulačního modelu</i>	116
8.7.2	<i>Simulační experiment</i>	119
8.7.3	<i>Výsledky experimentu</i>	119
8.7.4	<i>Souhrn</i>	121
8.8	Simulační model výroby šroubů	121
8.8.1	<i>Návrh simulačního modelu</i>	121
8.8.2	<i>Alternativy simulačního modelu</i>	125
	<i>Alternativa 000</i>	125
	<i>Alternativa 001</i>	128
	<i>Alternativa 002</i>	128
	<i>Alternativa 003</i>	129
8.8.3	<i>Porovnání alternativ simulačního modelu</i>	129
8.9	Analýza zásobovacího problému	131
8.9.1	<i>Definice problému</i>	131
8.9.2	<i>Definice optimalizačního kritéria – kritériální funkce</i>	133
8.9.3	<i>Procesy a hmotné toky při zásobování</i>	134
8.9.4	<i>Algoritmy pro řešení zásobovacího problému</i>	134
8.9.5	<i>Algoritmus pro paletizaci materiálu ve svařovně</i>	136
8.9.6	<i>Úloha simulačního modelování při řešení zásobovacího problému</i>	137
8.9.7	<i>Návod na přípravu a modifikaci simulačního modelu logistických procesů svařovny</i>	137
	<i>Modelové komponenty a datové struktury</i>	137
	<i>Algoritmy řízení toku materiálů</i>	141
8.10	Aplikace pro automatické generování mořících linek	141
8.10.1	<i>Definice a změna vstupních parametrů</i>	141
8.10.2	<i>Import dat do modelu</i>	142
8.10.3	<i>Ovládání a možnosti aplikace</i>	143

8.10.4	<i>Generování výstupních dat</i>	145
8.10.5	<i>Následující vývoj generátoru</i>	145
8.11	Vliv rozložení strojů na energetickou náročnost transportního systému	146
8.11.1	<i>Popis výrobního systému</i>	147
8.11.2	<i>Definice energetické spotřeby</i>	148
8.11.3	<i>Simulace základní alternativy</i>	151
8.11.4	<i>Optimalizace základní alternativy</i>	152
8.12	Transfer dat do/z simulačního modelu, Připojení simulačního SW na databázi ERP podniku	153
8.12.1	<i>Definice obecného přenosu dat</i>	153
8.12.2	<i>Data přenášená z ERP systému do simulačního systému</i>	154
8.12.3	<i>Data přenášená ze simulačního systému do ERP systému</i>	155
8.12.4	<i>Příklad transferu dat</i>	155
9	ZÁVĚR A POKRAČOVÁNÍ VĚDECKÉ PRÁCE.....	156
10	POUŽITÁ LITERATURA.....	158
11	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	165
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	167
13	SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ, ÚČASTÍ NA KONFERENCÍCH A PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍ	169
13.1	Vlastní publikace.....	169
13.2	Konference a semináře.....	170
13.3	Průmyslové aplikace	171
14	SEZNAM PŘÍLOH	173
15	PŘÍLOHY	175

1 ÚVOD

V současné době, kdy se na trhu objevuje mnoho produktů stejného typu, je nutné vytvořit podnik, který je schopen svým výrobkem konkurovat a zabrat tak strategickou pozici na trhu. [67] Dělat správná rozhodnutí ohledně směřování vývoje výrobního procesu je jedním z klíčových faktorů úspěchu firem. Tlak konkurence a zvyšující se požadavky zákazníků nutí společnosti stále inovovat, zlepšovat, předhánět konkurenci. Jak jednoduché by rozhodování bylo, kdyby vedení firmy předem vědělo, jaký bude mít které rozhodnutí dopad, jak se která skutečnost v budoucnosti projeví? Přesně předpovědět budoucnost samozřejmě není možné. Co již ale moderní technika umožňuje, je na základě současných a historických dat a s příslušnými nástroji testovat vývoj daných skutečností. [68]

Výrobní společnosti se snaží vylepšit své interní procesy a zvýšit efektivitu výroby, aby dosáhli spokojenosti zákazníků. Tím by navýšili prodej svých výrobků, což zlepšuje finanční výkonnost společnosti. Zisky z navýšení výrobního výkonu mohou vést ke zvýšení finanční výkonnosti, které může vyústit ve zvýšení přístupu ke kapitálu, snížení nákladů na kapitál a nárůstu investic ve výrobním závodě. Významným měřítkem výrobního výkonu je efektivita výroby. Minimalizace dodací lhůty a průběžných dob pak může zlepšit efektivitu výroby. Zkrácení průběžných dob je konkurenční výhodou; mnoho zákazníků požaduje dodání svých výrobků co nejdříve od zadání zakázky.

Výrobní firma může snížit dobu průchodu polotovaru výrobou tím, že například minimalizuje čas potřebný k inspekci ve výrobě, transportní časy, délky front atd. V důsledku minimalizace těchto činností se také snižují průběžné doby a zvyšuje výkon systému. [69]

Jedním z velmi užitečných nástrojů ke zkrácení průběžných dob jsou diskrétní simulace.

Simulace diskrétních událostí je široce používaný nástroj pro předpovídání a hodnocení výkonnosti výrobních systémů. Simulační modely mohou obsahovat podrobné informace o systému a umožňují reprezentaci jedinečných vlastností výrobních systémů. Simulace výrobních systémů je nejvýhodnější alternativou pro hodnocení výkonnosti tehdy, kdy matematické předpoklady, na kterých jsou založeny analytické postupy, nejsou uspokojeny a/nebo , když je cílem posouzení přechodného výkonu výrobního systému, nikoli jeho chování. [67]

Možností využití simulace podnikových procesů je celá řada, neboť komplikované podnikové systémy, které mají pravděpodobnostní a dynamické chování, jsou spíše pravidlem nežli výjimkou. Obecně existuje mnoho postupů pro zvýšení efektivnosti diskrétní výroby. V případě diskrétních výrobních systémů může být většina metod komplikovaných, náročných na zdroje (např. peníze a čas) a často mohou takové metody selhat. Počítačová simulace je jednou z metod pomáhajících manažerům předvídat chování systému při změně vnitřních či vnějších podmínek, optimalizovat podnikové procesy podle zadaných kritérií (zisk, náklady, spolehlivost) a porovnat mezi sebou navrhované alternativy organizace studovaného procesu. [68]

2 CÍL DIZERTAČNÍ PRÁCE

Dizertační práce “Příspěvek k problematice redukce průběžných dob ve výrobních systémech” je zaměřena na rozpracování metodologií a nových přístupů pro redukci průběžných dob ve výrobních systémech, využívajících simulačních metod, reorganizace výroby, metody na určování výrobních dávek, plánování a rozvrhování výroby, TOC/OPT, QRM apod. Na základě inteligentních algoritmů jsou zpracována doporučení pro výrobní manažery.

Hlavní cíl vědecké práce spočívá v návrhu nových, komplexních přístupů pro zkracování průběžných dob ve výrobních systémech. Byla rozpracována metodologie jejich využití ve výrobních systémech a navrženo jejich zařazení do řídicí struktury výrobního podniku.

Součástí hlavního cíle je rozpracování odpovídající manažerské podpory pro úspěšnou aplikaci těchto nových přístupů do průmyslu.

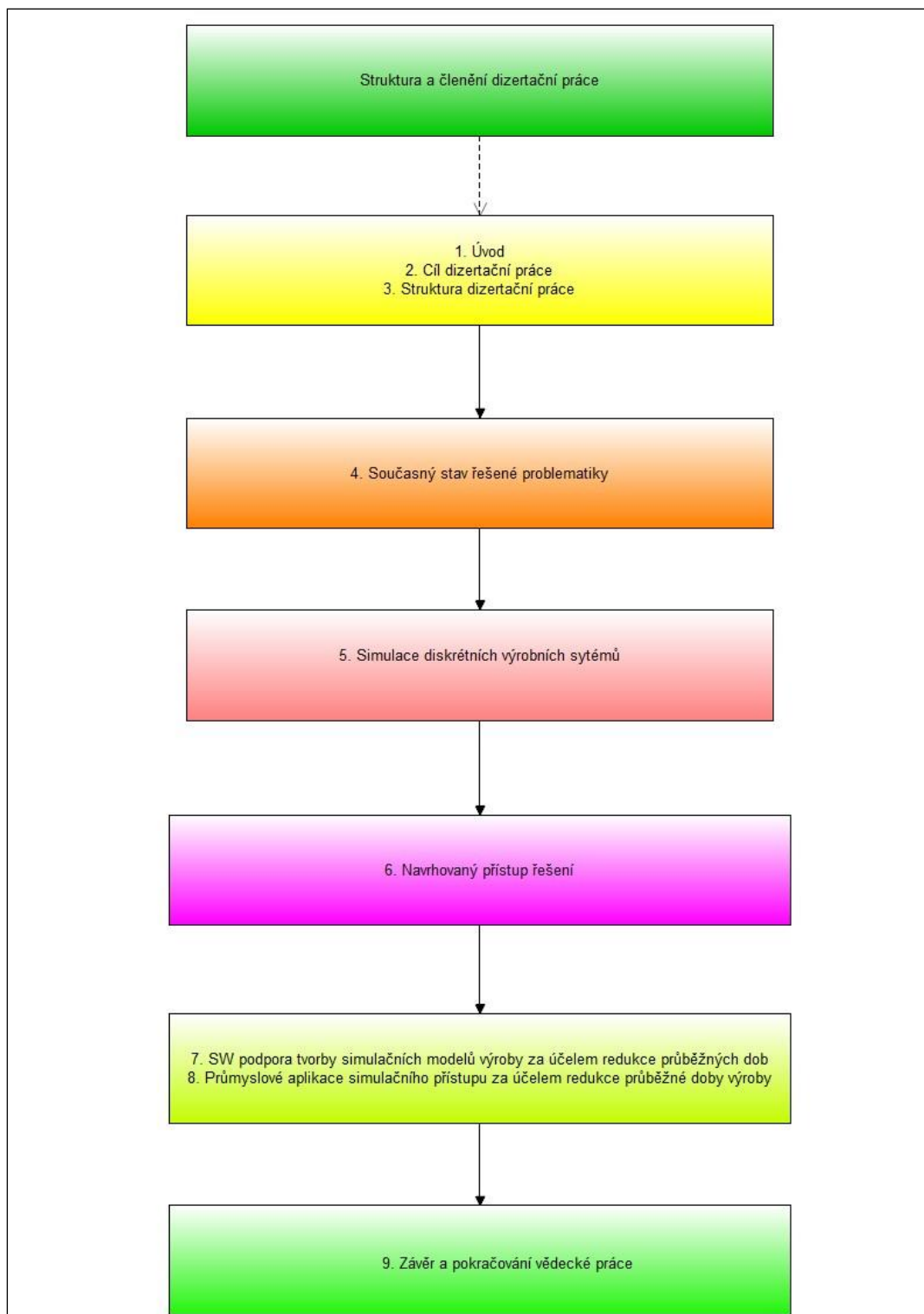
Jedním z dílčích cílů práce je analýza dostupných metod pro redukci průběžné doby (JIT, Kanban, Poka Yoke, OPT, Heijunka apod.) a na základě této analýzy vybrat metodu vhodnou pro další vývoj přístupu k redukci průběžných dob. Dílčím cílem je tuto metodu dále popsat, rozpracovat a odůvodnit volbu tohoto přístupu. V disertační práci jsou také popsány nástroje, které se využívají pro aplikaci vybrané metody.

Dalším dílčím cílem je shrnutí obecných přístupů k redukci průběžných dob, které zahrnuje stanovení cíle, postup a prezentaci procesu redukce, a to z důvodu ucelení metodologie. Jsou analyzovány vlivy rozmanitých faktorů na průběžnou dobu, jako je vliv procesních časů, vliv velikosti výrobních dávek, vliv transportních dávek a transportního zdržení, vliv seřizovacích časů, vliv délky front, vliv variability procesů, vliv vytížení zdroje.

Vybraná metoda je prakticky aplikována na studie v průmyslových podnicích za účelem redukce průběžných dob. Aplikace jsou zaměřeny podle dostupnosti na rozmanité výrobní systémy, aby se prokázala vhodnost a univerzálnost použité metody pro nejširší spektrum výrobních systémů.

Součástí práce je i vyvinutí odpovídajících SW nástrojů, které podpoří aplikaci vybrané metody v průmyslu. Jelikož je informace o výrobním systému v průmyslových podnicích uložena do příslušných ERP systémů používajících databáze, je rozpracován i interface na transfer dat do/z tohoto ERP systému.

3 STRUKTURA DIZERTAČNÍ PRÁCE



Obrázek 1: Struktura dizertační práce

4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V kapitole 4 jsou nejdříve vymezeny pojmy, které úzce souvisí s problematikou redukce průběžných dob ve výrobních systémech a jsou dále v textu používány. Obsahem kapitoly 4.1 jsou tedy jednotlivé definice popřípadě doplněné o vyjádření v podobě vzorců.

Dále je v kapitolách 4.2, 4.3 a 4.4 detailně popsána problematika redukce průběžné doby včetně rozdělení průběžných dob na jednotlivé typy a jejich význam.

Kapitola 4.5 shrnuje různé způsoby redukce průběžných dob, jako je plánování a rozvrhování výroby, metoda Just In Time, Kanban, Poka Yoke a další a v neposlední řadě simulace výroby. Tato metoda byla dále využita jako nástroj pro snížení průběžných dob.

4.1 DEFINICE POJMŮ SOUVISEJÍCÍCH S PROBLEMATIKOU

- **Průběžná doba (Lead Time)** - Průběžnou dobu lze chápat jako průběžnou dobu výrobku anebo průběžnou dobu výroby:
 - Průběžná doba výrobku (zakázky) je základním výkonovým ukazatelem podniku. Pojmem průběžná doba výrobku označujeme časový interval, který začíná okamžikem, ve kterém zákazník uplatní svůj požadavek na výrobek až po dodání výrobku zákazníkovi. Průběžná doba výrobku se skládá z průběžné doby přípravy výroby výrobku a z průběžné doby výroby výrobku.
 - Průběžná doba výroby je určena především časovou strukturou výroby, o které vypovídá kusovník. Mimo jiné závisí také na pohybu součástí mezi několika technologickými pracovišti [35]
- **Celková produkce (Total production - TP)** – Jedná se o celkové množství výstupů systému pro dané vstupy.

$$TP = \text{Celková produkce za dobu výroby nebo simulace [ks]}$$

- **Výrobnost (Production Rate - PR)** - Počet výrobků, které mohou být vyprodukovány během určitého časového období. [39] Na výpočet výrobnosti systému lze nahlížet z různých pohledů. Výrobnost může být vypočítána jako podíl celkové produkce a délky trvání periody simulace nebo z cyklu polotovaru. Níže jsou zmíněny jednotlivé výpočty doplněné o kalkulaci dalších souvisejících statistik:

1. Klasický výpočet PR

- **PR actual (PR_{act})** – Aktuální výrobnost v době ukončení výroby nebo simulace

$$PR_{act} = TP/T \text{ [ks/hod]}$$

Kde: T = doba periody výroby nebo simulace (simulační čas)

- PR maximal (PR_{max}) – Maximální výrobnost za dobu výroby nebo simulace

$$PR_{max} = \text{Max} (Pr_{act 1} ; Pr_{act 2} ; \dots ; Pr_{act n}) \text{ [ks/hod]}$$

Kde: n = počet naměřených hodnot Pr_{act}

- PR average (PR_{avg}) – Průměrná hodnota výrobnosti za dobu výroby nebo simulace

$$PR_{avg} = (Pr_{act 1} + Pr_{act 2} + \dots + Pr_{act n})/n \text{ [ks/hod]}$$

Kde: n = počet naměřených hodnot Pr_{act}

2. Výpočet PR dle cyklu (Cycle time)

- PR actual cycle time (PR_{actCT}) – Aktuální výrobnost vypočtená z času cyklu

$$PR_{actCT} = 1 / \Delta t \text{ [ks/hod]}$$
$$\Delta t = t_n - t_{n-1} \text{ [hod]}$$

Kde: Δt = rozdíl času výstupu polotovaru pořadím n (t_n) a času výstupu polotovaru s pořadím n - 1 (t_{n-1})

- Maximální a minimální hodnota Δt pro počet naměřených hodnot PR_{actCT}

$$\Delta t_{max} = \text{Max} (\Delta t_1 ; \Delta t_2 ; \dots ; \Delta t_n) \text{ [hod]}$$
$$\Delta t_{min} = \text{Min} (\Delta t_1 ; \Delta t_2 ; \dots ; \Delta t_n) \text{ [hod]}$$

Kde: n = počet naměřených hodnot Δt

- PR average cycle time (PR_{avgCT}) – Průměrná hodnota výrobnosti

$$PR_{avgCT} = (PR_{actCT m} + PR_{actCT m+1} + \dots + PR_{actCT n}) / (n + 1 - m) \text{ [ks/hod]}$$

Kde: m = dolní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot PR_{actCT}
n = horní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot PR_{actCT}

- Maximální a minimální hodnota Δt pro počet vzorků naměřených hodnot PR_{avgCT}

$$\Delta t_{max} = \text{Max} (\Delta t_m ; \Delta t_{m+1} ; \dots ; \Delta t_n) \text{ [hod]}$$
$$\Delta t_{min} = \text{Min} (\Delta t_m ; \Delta t_{m+1} ; \dots ; \Delta t_n) \text{ [hod]}$$

Kde: m = dolní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot Δt

n = horní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot Δt

- **Výrobní systém (Production system)** - Obecně existuje mnoho definic výrobního systému, ale většina má stejné prvky (viz níže): Goldberg a Askin [32] definují výrobní systém jako soubor zdrojů a postupů přetvářející suroviny na výrobky. Podle Harrisona a Pettyho [33] se výrobní systém v zásadě zabývá transformací surovin na hotové výrobky určené k prodeji. Dále Proud [34] zmiňuje: Všechny výrobní systémy mají sadu identifikátorů, které definují, co jsou a komu slouží, a prostředků, které čerpají.
- **Simulační model (Simulation model)** - Simulační model je definován jako soubor matematických a logických vztahů, které vyjadřují chování prvků modelovaného systému (vzhledem k cíli modelování) [36]
- **Počítačová simulace (Computer simulation)** - Simulace je napodobování procesu nebo systému v reálném světě v průběhu času. Simulace zahrnuje generování a pozorování umělé historie systému, na jehož základě lze vyvodit závěry týkající se provozních vlastností skutečného systému, který je simulací reprezentován. Simulace je nezbytná metodologie pro řešení mnoha problémů v reálném světě. Používá se k popisu a analýze chování systému, odpovídá na otázky typu "co kdyby" skutečného systému a pomáhá při návrhu reálných systémů. Pomocí simulace lze modelovat již existující systémy i systémy konceptuální. [2]
- **Optimalizace (Optimization)** - Proces modifikace výrobního systému, který vede k jeho vyšší efektivitě nebo ke snížení nároků celého výrobního systému. [37]
- **Úzké místo (Bottleneck)** - Výrobní operace, která omezuje průtok celého výrobního systému, tedy i jeho schopnost generovat peníze. Žádná jiná výrobní operace takovou vlastnost nemá. Úzké místo musí proto pracovat nepřetržitě, na sto procent. [38]
- **Just-In-Time (JIT)** - JIT je nejen jednou ze základních filozofií přístupu k organizování moderního výrobního podniku, ale zároveň je chápána i jako možná metoda pro plánování a řízení výroby. [7]
- **Kanban** - Princip řízení výroby pomocí vizuálních pomůcek, jejímž hlavním cílem je podporovat na každém stupni „výrobu na výzvu“. [9]
- **Simulační analýza (Simulation Analysis)** - Problém je analyzován pomocí simulačního přístupu. Poté se provede vícenásobná simulace běhu projektu (např. 100 běhů), přičemž každý běh simulace vydá jednu sadu sledovaných parametrů (např. doba skončení projektu, popř. data konkrétních milníků, ale i další sledované veličiny, náklady, potřeba pracovních sil atp., vždy podle potřeby projektu. [40]

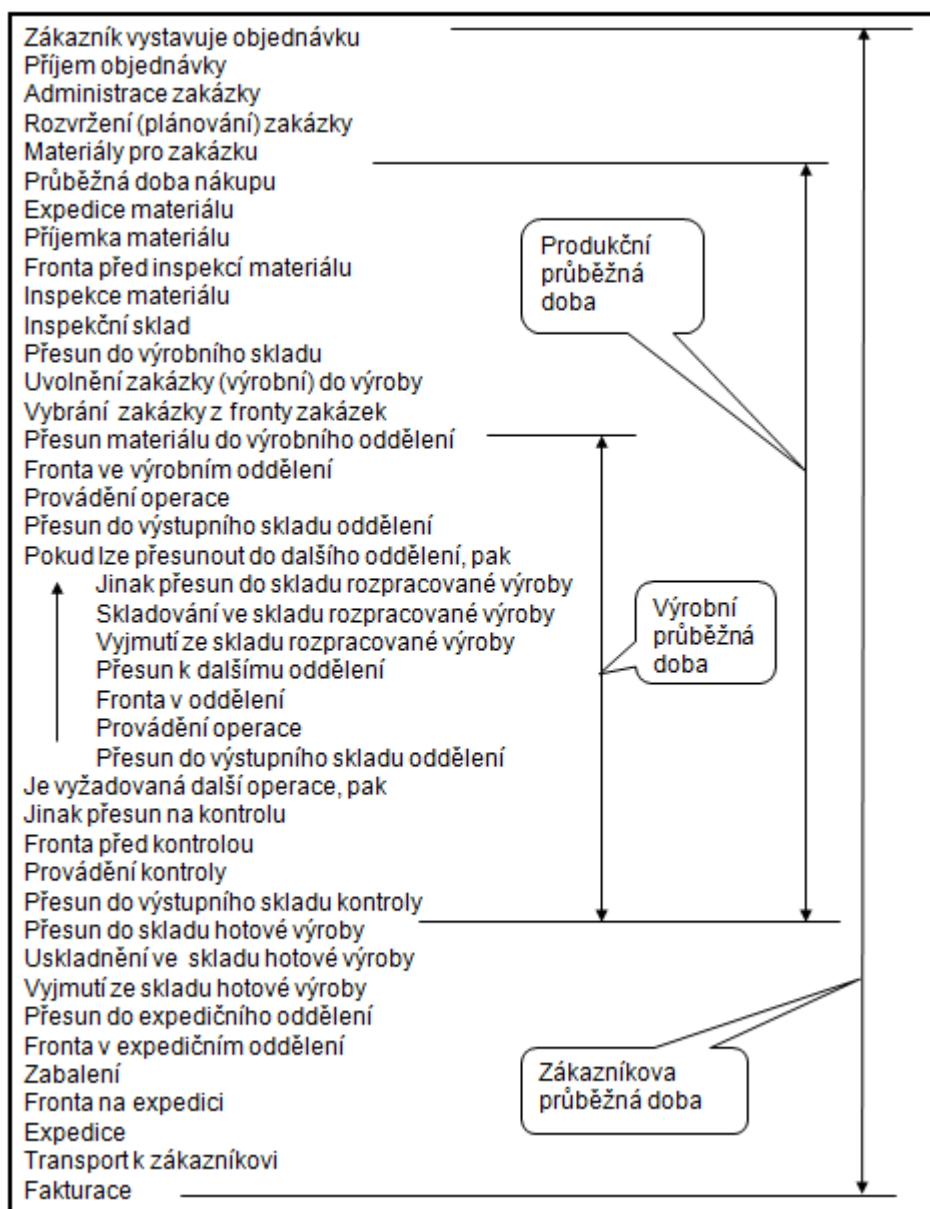
4.2 REDUKCE PRŮBĚŽNÉ DOBY

Konkurenční prostředí je důležité pro každý výrobní závod. Cílem každé takové společnosti je prosadit se na trhu a zvýšit svou rentabilitu a zisk. Jednou z možností, jak těchto cílů dosáhnout, je zkrácení průběžné doby výroby a zvýšení výrobnosti pomocí řízení, plánování a rozvrhování výroby. [4]

Řízení výroby je komplikovaný proces, který vyžaduje zodpovědně řešit vznikající problémy a odpovídat na velmi důležité otázky týkající se výroby, jako jsou:

- Kolik a čeho se musí nakoupit?
- Kolik výrobků bude nutno pro uspokojení předpovědi poptávky?
- Kolik a čeho je ve skladech?
- Co se musí vyrobit?
- Jaké výrobní procesy jsou nutné?
- Jaké jsou skutečné dostupné kapacity?
- Co se musí obstarat?
- Jaká je průběžná doba?

Odpovědi na tyto otázky nejsou jednoduchou záležitostí. Na Obrázku 2 jsou demonstrovány možné úvahy, které vznikají při určování průběžné doby. Je zřejmé, že pravděpodobnost vzniku chyb při odhadu průběžných dob je značná. [70]



Obrázek 2: Rozsah témat řešených při redukcí průběžných dob [70]

Redukce průběžné doby byla dlouho považována za základní cíl celkového podnikatelského zlepšení [18] a základním kamenem pro "štíhlé myšlení" ([16],[17]). [3] Průběžná doba ovlivňuje celkové provozní náklady a kvalitu. [20]

4.3 TYPY PRŮBĚŽNÝCH DOB

Na průběžnou dobu lze nahlížet ze dvou pohledů. První z nich říká, že průběžná doba je časová perioda, která začíná prvním požadavkem na produkt. Tímto požadavkem může být objednávka od zákazníka, zahájení výroby zcela nového výrobku, nebo inovace stávajícího produktu. Tato definice průběžné doby zahrnuje i všechny činnosti spojené s předvýrobní fází a přípravou výroby, marketingem, nákupem surovin, účetnictvím atd. Časová perioda průběžné doby končí odvedením výrobku zákazníkovi. Tento typ průběžné doby se nazývá průběžná doba výrobku. Kromě průběžné doby výrobku se rozlišuje také průběžná doba výroby. Průběžná

doba výroby se liší od průběžné doby výrobku tím, že je zahájena prvním výrobním příkazem na zdroji. Zdrojem může být stroj (skupina strojů) nebo operátor (skupina operátorů). Koncem průběžné doby výroby je analogicky poslední výrobní příkaz, který je potřeba pro zpracování produktu. Zkrácení průběžné doby výroby má radikální význam pro zefektivnění klíčových ukazatelů výkonnosti výroby (KPI - Key Performance Indicators). [4]

4.4 VÝZNAM REDUKCE PRŮBĚŽNÉ DOBY

V řízení výroby může být doktrína "Lean" považována za jednu z filozofií snížení průběžné doby (např. [19], [20]). Redukce průběžné doby výroby je také jedním z hlavních principů redukce odpadu, stejně jako čekacích dob a dob na opravy [17]. Podle Hoppa a Spearmana [21] je většina času ve výrobním procesu vynaložena na čekání.

Čekání může být způsobeno zpožděním, ve kterém jeden produkt má čekat, dokud nejsou ostatní produkty zpracovány, nebo zpožděním, ve kterém způsobuje čekání špatná synchronizace [17]. Variabilita, která existuje v každém výrobním prostředí, může mít také významný dopad na výrobní systémy [22]. 100% využití kapacity je nemožné, pokud existuje variabilita. Jestliže je variabilita tolerována, projeví se to snížením propustnosti, plýtváním kapacitami, dlouhými časy cyklů, a vysokou úrovní rozpracované výroby [21]. [3]

Výhody redukce průběžné doby výroby jsou značné. Podle Karmarkara [23] způsobuje dlouhá průběžná doba ve výrobě:

- Nárůst rozpracované výroby;
- zmražení plánů na dlouhou dobu, čímž narůstá nutnost změn v plánování;
- zvýšení bezpečnosti zásoby z důvodu ochrany proti delším průběžným dobám a chybám v předpovědi;
- suboptimalizace zlepšení úsilí, protože zvýšená prodleva mezi výrobou a využitím znamená ztrátu informací o kvalitě a spokojenosti;
- nárůst variability, neboť koordinace se stává obtížnější vzhledem k dlouhým zpožděním;
- narušení konkurenceschopnosti společnosti, protože se prodlužují odezvy na měnící se potřeby zákazníků atd. [3]

4.5 METODY REDUKCE PRŮBĚŽNÉ DOBY

Obecně existuje mnoho metod pro redukci průběžné doby výroby. Pro mnoho výrobních podniků znamená zkrácení průběžné doby rozdíl mezi tím být jen součástí trhu a být na prvním místě ve výrobě a prodeji určitého produktu. Z toho vyplývá, že tato metodologie může poskytnout společnosti konkurenční výhodu v podobě prvenství na trhu, a co je neméně důležité, zákazníci vidí tuto společnost jako pevného vůdce na trhu.

V kapitole 8.1 je uveden příklad snižování průběžné doby ve výrobním podniku, kde je výsledkem tohoto procesu doporučení pro manažery společnosti. Tato

doporučení zahrnují konkrétní změny, jejichž aplikací lze dosáhnout zkrácení výrobní doby a následně zvýšení rychlosti výroby.

4.5.1 Plánování a rozvrhování výroby

Hlavní metodikou pro zkrácení průběžné doby výroby je využití plánování a rozvrhování výroby. Plánování a rozvrhování se řadí mezi rozhodovací procesy, které jsou běžné v mnoha průmyslových operacích. Tyto formy rozhodování hrají důležitou roli v zásobování a výrobě, dopravě a distribuci a v informačních procesech a komunikaci. Funkce plánování a rozvrhování ve společnosti se skládá z matematických technik a heuristických metod, které slouží k přidělení omezených zdrojů, jež mají být zajištěny. Přidělování zdrojů musí být realizováno tak, aby byly podnikové cíle optimalizovány a aby jich bylo dosaženo. Zdrojem může být stroj v továrně, přistávací dráha na letišti, pracovní čety na staveništích nebo počítače. Činností může být například práce na staveništi, vzlety a přistání letadel, fáze konstrukčního projektu nebo počítačový program, který má být zpracován. Každá činnost má svou prioritu, nejdříve možný začátek a termín dokončení. Cíle mohou mít několik různých forem, jako například minimalizace času potřebného k dokončení všech činností, minimalizace počtu činností, které byly dokončeny po závazném termínu dokončení atd. [4]

4.5.2 Porovnání různých přístupů k plánování a rozvrhování výroby

MRP I a MRP II

Během posledních 30 let manažeři pro plánování a řízení výroby pracují se systémy typu MRP/ERP, jejichž nedostatky a zastaralost jsou dobře známé.

MRP I (Material Requirements Planning), později rozšířeného o zpětnou vazbu informací z výroby, tzv. "Closed Loop MRP". Po doplnění kapacitního plánování výroby, tzv. CRP (Capacity Resource Planning), začala být metoda označována jako MRP II.

Vysoká míra nasazení MRP II vyplývá ze skutečnosti, že podporuje většinu potřebných podnikových funkcí, zejména spojených s oblastí plánování. Její univerzálnost je dále dána možností nasazení jak v kusové, tak i sériové výrobě. Metoda plánování potřeb MRP II má ovšem řadu nedostatků. Mezi nejčastěji diskutované patří zejména:

- Pevná velikost dávky;
- délka odhadovaných časů nakupovaných položek;
- délka časů přechodu mezi pracovišti;
- plánování do "neomezených" kapacit;
- potřeba proškolení značného množství pracovníků. [43]

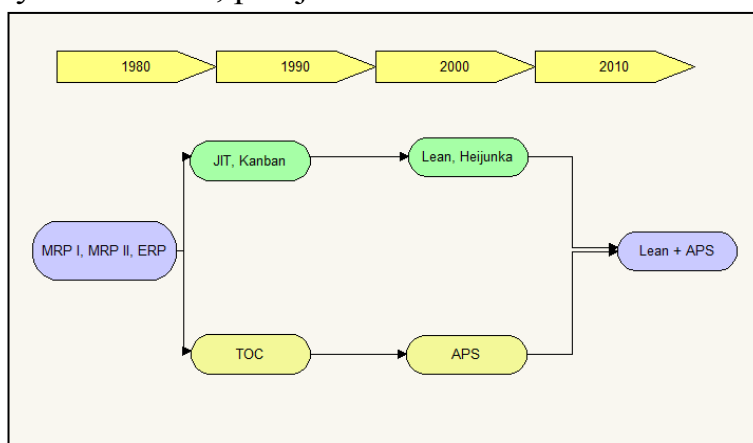
APS

Pokrokové plánování a rozvrhování (APS - Advanced Planning and Scheduling) je metoda souběžné synchronizace kapacit a materiálů podle příslibeného termínu

dokončení zakázek. APS systémy se vyvinuly ze systémů MRP, ze systémů pro kapacitní plánování (CRP - Capacity Requirement Planning) a ze systémů pro rozvrhování výroby (viz Obrázek 3). APS sdružují nejpokrokovějších rysy ERP systémů a reálné znalosti manažerů pro plánování a rozvrhování výroby.

Lze tedy říci, že APS systémy nahrazují MRP systémy a využívají ERP systémy pro připojení na reálný výrobní systém. Na rozdíl od MRP systémů, APS berou v úvahu zároveň materiálové a kapacitní požadavky při generování materiálového plánu. Během rozvrhování každé zakázky řeší APS pro každou operaci současně materiály a kapacity.

Nejprve je zkoušeno rozvrhnout zakázku pozpátku od termínu, kdy má být hotová. Toto by mohlo být optimální řešení. Pokud to však není možné, pak je zakázka rozvrhovaná dopředu (to znamená od termínu, kdy vstoupí do výroby) a pak se provede znovu rozvrhování pozpátku, aby se odstranily časové mezery. Všechno se odehrává v jednom synchronizačním procesu. Materiálové a kapacitní plánování není již iterační proces, jako je tomu u MRP (I, II) systémů. APS systémy nabízejí uživateli schopnost v reálném čase, on-line, obdržet termíny dokončení zakázek, neboli termíny, kdy mohou přislíbit, že zakázky budou hotové. Termíny jsou odvozeny od aktuálního stavu výrobních zdrojů v reálném čase, místo toho, aby se odhadovalo a čekalo, kdy bude asi výrobní dávka dokončena. Pokud zákazník souhlasí s nabízeným termínem, pak je zakázka okamžitě zařazena do rozvrhu. [71]



Obrázek 3: Vývoj metody APS

4.5.3 Redukce hladiny rozpracované výroby

Jak již bylo zmíněno dříve v tomto textu, existuje mnoho metod pro zkrácení průběžné doby výroby. Jednou z nich je plánování a rozvrhování výroby. Tato metodologie definuje mnoho přístupů, které lze k dosažení cíle zkrácení průběžné doby výroby použít. Mezi tyto přístupy patří například:

- Redukce hladiny rozpracované výroby;
- synchronizace výroby;
- zajištění kontinuity toku práce;
- odstranění variability atd.

Další část textu je zaměřena na redukci rozpracované výroby.

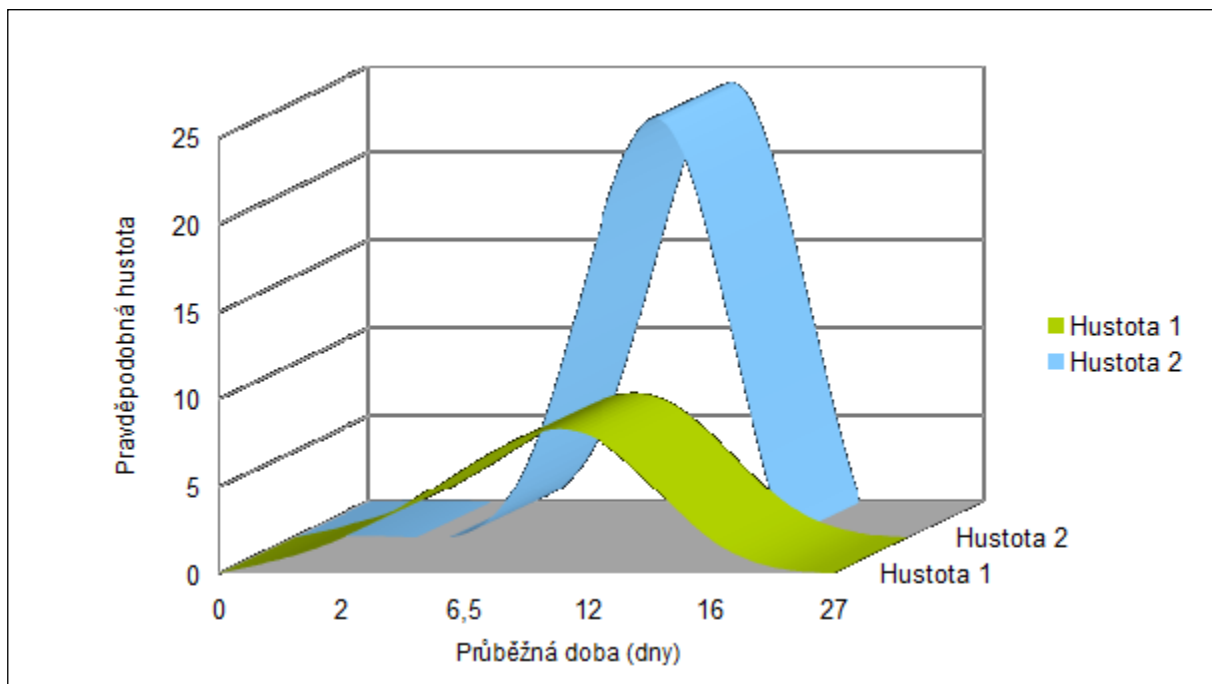
Jedním z cílů snad každého výrobního závodu je redukce zásob rozpracované výroby. Snižování zásob rozpracované výroby je velmi požívaným nástrojem ke zlepšení celkové výkonnosti firmy. Cílem je například redukce průběžné doby výroby, zvýšení flexibility, redukce nákladů, nebo nárůst kvality. Jak poznamenal Suzaki: "Nadměrné zásoby jsou kořenem všeho zla" [24]. Nicméně podle přístupu Goldratta je významem zásob "chránit úzká místa" [25]. Tyto dva přístupy ukazují, že vyšší zásoby v úzkém místě nelze považovat za nadměrné, je-li to nutné pro udržení průchodnosti. Pro konkrétní případ (viz níže) je navýšení zásob a prodloužení toku času ve vzájemné závislosti.

$$\text{added inventory} = \text{production rate} \times \text{added flow time}$$

Kde: added inventory ...průměrný počet čekajících dávek [ks]
production rate...výrobnost [ks/h]
added flow time...průměrná doba čekání dávek [h]

Tento výraz je znám jako "**Littlův zákon**" a je široce aplikovatelný na téměř každý zdroj, který vytváří frontu. Například když je zpožděna montáž z důvodu nedostupnosti některého dílu, dodávka požadovaného dílu se bude rovnat výrobnosti vynásobené průměrným časem čekání na tento díl. Proto každá činnost zaměřená na redukci průběžné doby výroby bude mít vliv na redukci zásob.

Obrázek 4 znázorňuje příklad dvou hustot toku času se stejným významem a různou směrodatnou odchylkou. Z Obrázku 4 je zřejmé, že 99% pracovních příkazů je dokončeno s průběžnou dobou kratší než 15 dní. Tam, kde je větší směrodatná odchylka, je potřeba 27 dní pro zpracování stejné úrovně služeb. Z grafu je také vidět, že nejpravděpodobnější doba pro menší směrodatnou odchylku je 11 dní. Proto práce s dodací lhůtou 15 dnů skončí s největší pravděpodobností o 4 dny dříve. Z toho vyplývá, že zásoby, které budou čekat 4 dny, sníží produkci (Littlův zákon). V druhém případě je nejpravděpodobnější dodací lhůta 8 dní, což znamená 19 dní držení zásob. I když je tento případ extrémní, vyplývá z něj, že dodací lhůta a držení zásob závisí na variabilitě spojené s kontinuálním časem, a ne jen s průměrnou dodací lhůtou. [4]



Obrázek 4: Hustoty toku času s různým rozptylem [4]

4.5.4 Just-in-Time

Princip Just In Time (JIT) nepředstavuje uzavřený soubor jasně definovaných metod, pravidel a postupů, ale jedná se spíše o filozofii, která musí být dotvářena v souladu s charakteristickými podmínkami daného podniku.

Jedná se o nejznámější logistickou technologii, která byla poprvé aplikována v roce 1926 v závodech Toyota Company, ale její největší rozmach přichází až počátkem 80. let v Japonsku a USA.

JIT je metoda zvyšující produktivitu práce, kde jako hlavní faktor vystupuje čas; změna ve výrobních systémech se opírá o myšlenku vzájemné závislosti rychlosti a schopnosti přizpůsobit se změnám.

Vedle snahy o minimalizaci pohybu materiálu ve skladech je zde uplatňován princip řízení výrobního procesu tak, že vše je řízeno aktuální potřebou. [6]

Just-in-Time (JIT) reprezentuje tažný systém – materiálové požadavky na součásti výrobku jsou směřovány od zákazníka k dodavateli – „zákazník“ a „dodavatel“ zde jsou dva libovolné subjekty, kdy jeden poskytuje a druhý přijímá – např. dva stroje na výrobní lince stejné firmy, stejně jako nakupující firma a firma dodávající.

JIT metoda se snaží dosáhnout idealizované situace označované jako „sedm nul“ (seven zeroes):

- Nulové množství zmetků;
- nulové časy seřízení;
- nulové stavy zásob;
- žádná manipulace;
- žádná přerušení;
- okamžité časy dodávek;

- dávky o velikosti jedna. [7]

Metoda JIT požaduje jednosměrný materiálový tok a synchronizaci operací. Mezi plánovací taktiky JIT dle Heizera [8] patří:

- Plánování a výroba na objednávku;
- komunikace objednávek s dodavateli;
- nastavení, stabilizace a provedení objednávek;
- eliminace ztrát;
- výroba v malých dávkách;
- využití metody Kanban;
- produkce bezvadných výrobků.

Podle Mičiety [9] má JIT tři základní složky, a to JIT dodávky (výrobky a polotovary), JIT výroby a „podstatu“ JIT. Základní funkcí JIT dodávky je zabezpečení, aby se přesný počet položek v určité struktuře dostal ve stanoveném čase na určité místo. To tvoří obsah operativního řízení v systému JIT, kde se nejčastěji používá tahový systém řízení Kanban. Kanban není JIT a JIT není Kanban. Kanban je jedním z nástrojů řízení výroby, přičemž často zasahuje také do dodávek materiálu externích dodavatelů. Hlavní výhodou JIT výroby je zabezpečení požadavků první části, tedy JIT dodávky. Základní změnou je organizace výroby tak, aby zabezpečila požadované dodávky, které jsou odvozené od parametrů objednávek. „Podstata“ JIT rozpracovává metody a způsoby realizace jednotlivých činností v rámci systému JIT tím způsobem, aby bylo dosaženo špičkové úrovně všech činností výroby. Jejím základem je vybudování komplexního systému, který přetváří celou organizaci s cílem dosáhnout rovnováhu mezi její pružností a výkonností. [10]

4.5.5 Autonomní pracoviště nebo také „dej strojům inteligenci“

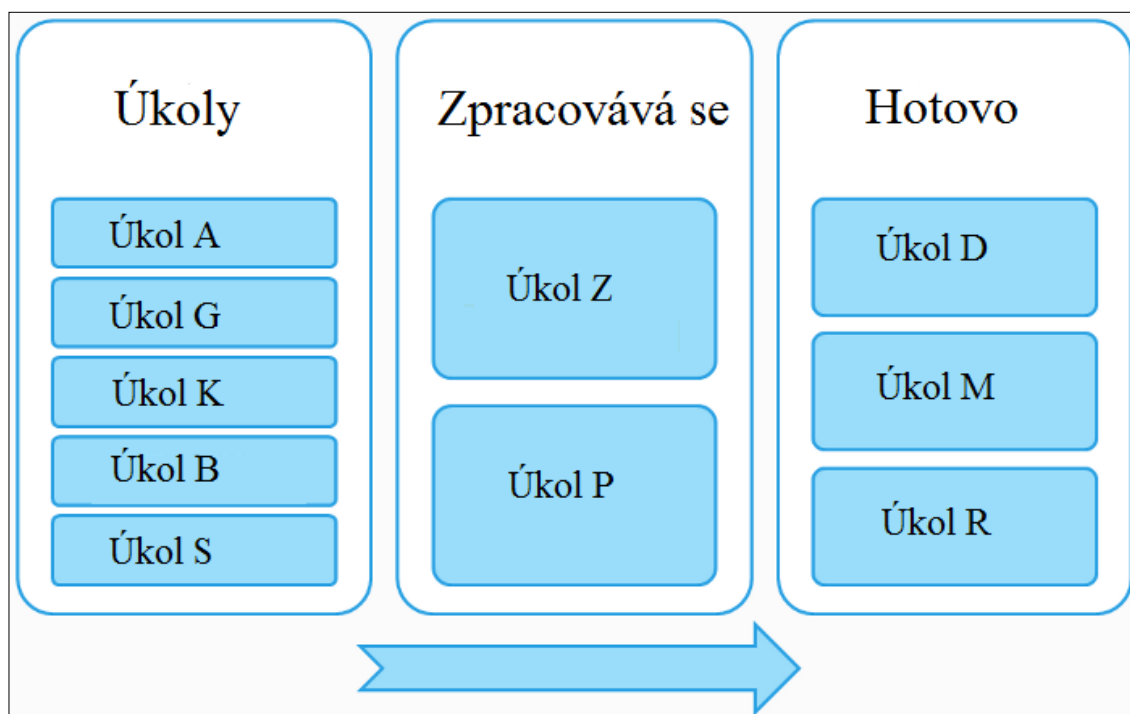
Pod tímto pojmem se skrývá metoda JIDOKA. V podstatě se jedná o vypracovanou koncepci, která zabezpečuje okamžité zastavení výrobního systému, pokud nastane neobvyklá situace a je zapotřebí její rychlé řešení. Povolená je pouze výroba kvalitních výrobků, neboli „OK kusů“ (zmetek – „NOK kus“). V rámci tohoto systému jsou výrobní zařízení upravena na automatickou samokontrolu výrobků, tedy bez zásahu člověka. Chybný stav je signalizován zpravidla zvukovým nebo vizuálním způsobem. Princip samokontroly je již znám pod názvem Poka-Yoke, jehož myšlenkou je to, že operace se nedá vykonat jiným způsobem než správně. [10]

4.5.6 Kanban

Mičieta [9] definuje Kanban jako princip řízení výroby pomocí vizuálních pomůcek, jejímž hlavním cílem je podporovat na každém stupni „výrobu na výzvu“. Ta umožňuje bez větších investic redukovat zásoby a zlepšovat přesnost plnění termínů. Základní myšlenka systému Kanban je založena na uplatnění zásad organizace činností amerických supermarketů, kdy kupující odevzdávali u pokladen

lístek, který byl připevněn na zboží, který si koupili. To umožňovalo jednoduchým způsobem sledovat objem prodeje. Lístky byly v určitých časových intervalech odesílány z pokladen do skladu a tak bylo relativně jednoduché doplňovat zásoby v supermarketu. Když něco ve skladě chybělo, lístky putovaly do výrobního závodu pro doplnění skladu. Taiichi Ohno zrealizoval tento systém i ve výrobě automobilů, a to prostřednictvím Kanbanových karet. [10] Schematické znázornění úkolů je zobrazeno na Obrázku 5. Kanbanové karty zpravidla obsahují následující informace (dle Silvera [11]):

- Číslo Kanbanu (identifikace určité karty);
- číslo výrobku;
- název a popis výrobku;
- místo, kde se karta využívá (kdo je interní zákazník a kdo interní dodavatel);
- číslo vstupu v standardním kontejneru.



Obrázek 5: Schematická organizace úkolů dle metody Kanban

4.5.7 Poka-Yoke

Poka-Yoke je metoda štihlé výroby zabráňující vzniku neshod nejen ve výrobním, ale také v nevýrobním procesu. Mezi nejčastější chyby, kterých se pracovníci dopouštějí, je možné zařadit zapomnětlivost, chyby plynoucí z nedorozumění, chybnou identifikaci, chyby způsobené nedostatečnou odborností pracovníků, úmyslné i neúmyslné chyby, chyby způsobené pomalým výrobním tempem či chyby zapříčiněné neexistencí potřebné normy. Právě díky těmto chybám může následně docházet k vynechání montážní operace, vadné montáži, chybějícím či špatným dílům, zpracování špatného kusu, nesprávnému provedení operací a dalším. [12]

Provozní prostředky jsou uzpůsobeny tak, aby omyly v obsluze nemohly vést k chybám u výrobku (např. výstupek z konektoru zamezí nesprávnému zastrčení). Jsou nasazeny provozní prostředky zabezpečené proti chybnému jednání (angl. foolproofing, tj. zajištění proti nesprávné manipulaci). Tímto způsobem je možné s nesprávnými elementy systému (např. dělníci, kteří se dopustí omylu) dosáhnout bezchybnou výrobu (strategie nulové chyby).

Vhodnou aplikací prostředků Poka – Yoke je možno zjistit odchylky montovaného dílu od kalibru, popř. od znaků nastavených v programu stroje (např. počet aktivních čidel pro daný výrobek).

1. Vodící kolíky různých velikostí - Kolíky umístěné ve spodním dílu formy přesně zapadají do děr v horním dílu formy. Kolík (kolíky) umístěné na dosedacích plochách zakládacích přípravků umožňují správné a jednoznačné založení pouze požadovaného dílce.
2. Optické snímače - Optické snímače detekují přítomnost (polohu) dílce po provedené montážní operaci. V případě, že snímač detekuje chybějící dílec, odešle signál do řídicího systému zařízení, který zablokuje výrobek v přípravku, popř. světelně a zvukově signalizují chybějící díl obsluze.
3. Koncové spínače - Koncové spínače detekují správnou pozici dílce, až poté spustí pracovní cyklus. Koncové spínače detekují posuv nástroje. Při dosažení koncové polohy (po sepnutí koncového spínače) se nástroj vrací do základní polohy.
4. Počítadla - Na počítadle je nastaven přesný počet operací, popř. počet montovaných dílců. V případě, že se skutečný počet liší od referenčního, je spuštěna světelná a zvuková signalizace. [64]

Systémy Poka – Yoke tvoří jednoduchý a robustní nástroj pro 100% kontrolu parametrů komponentů vstupujících do výrobního procesu. Detekují neshodné komponenty, vady komponentů a vytváří rychlou zpětnou vazbu tak, že protipatření mohou být provedena okamžitě. Zařízení Poka – Yoke, v případě zjištění neshody, nespustí výrobní operaci, popř. vypne zařízení a upozorní obsluhu. Rozpozná abnormalitu výrobku, rozdílů vzhledem k určené hodnotě, nebo vynechanou výrobní operaci. Aplikací Poka-Yoke prostředků je snížena vnitropodniková zmetkovitost a počet možných reklamací od zákazníka. [64]

4.5.8 Optimized Production Technology

OPT (Optimized Production Technology) je koncept řízení výroby zaměřený na optimalizaci výrobních toků. Je založen na předpokladu, že výkonnost výrobního systému jako celku určují úzkoprofilová pracoviště, tzv. bottlenecks (úzká hrdla). Výhoda je snížení průběžných dob a zvýšení celkové průchodnosti výrobního systému. OPT bývá označován jako dokonalý software pro plánování výroby s možnostmi širokého přizpůsobení konkrétním podmínkám a zohlednění specifik individuálních uživatelů. [13]

V souladu s tvrzením, že dosahování lokální efektivity v místech, kde neexistuje omezení, je kontraproduktivní, se plánování výroby podřizovalo pouze místům ve výrobním procesu, která svou kapacitou určovala tempo výstupu. Tento způsob plánování výroby byl ovšem těžce přijímán v praxi, která se na pokyny nevyužívat některé kapacity výroby dívala nedůvěřivě. Přes solidní počáteční úspěchy systému OPT se, právě díky výše uvedenému způsobu uvažování, implementace OPT mnohdy setkávala s nepřekonatelnou hradbou nesouhlasu. To způsobilo následné neúspěchy OPT v praxi. Ve snaze zabránit dalším nedorozuměním shrnul Goldratt základní premisy celého OPT systému do devíti bodů, které měly poskytovat dostatečnou oporu podnikům, jež se rozhodly pro implementaci OPT (viz Tabulka 1). [65]

1. Vyvažuj tok, ne kapacitu.
2. Míra vytíženosti nekritického zdroje není dána jeho vlastní kapacitou, ale jiným omezením v systému.
4. Hodina ztráty na kritickém zdroji je hodina ztráty celého systému
3. Vytíženost a aktivace zdroje není to samé.
5. Hodina ušetřená na nekritickém zdroji je pouhým přeludem.
6. Kritické zdroje určují propustnost i zásoby.
8. Procesní dávka by měla být proměnná, ne fixní.
7. Přepravní dávka nemusí být a často by neměla být rovna procesní dávce
9. Plány by se měly tvořit se zohledněním všech omezení systému současně. Průběžné doby výroby jsou výsledkem plánu a nelze je stanovit předem.

Tabulka 1: 9 pravidel OPT [65]

4.5.9 Teorie úzkých míst

Teorie úzkých míst, neboli Theory of Constraints (TOC) je ucelená manažerská filozofie sloužící k řízení a trvalému zlepšování činnosti organizací pomocí řízení úzkých míst. Úzké místo označuje místo s nejmenším průtokem. Je to zdroj (stroj, pracovník, zásoba, manipulace, zákazník, trh, dodavatelé a mnoho dalších), který limituje celkový průtok systémem.

Na počátku teorie úzkých míst stál Eliyahu M. Goldratt a jeho koncept OPT (Optimized Production Technology), který je popsán výše. Metoda TOC disponuje třemi základními ukazateli:

1. Průtok (throughput)

Ukazatel průtok označuje peníze, které organizace obdrží za realizaci svých výrobků a služeb neboli míru generování peněz za jednotku času.

$$T = (\text{peníze z prodeje} - \text{variabilní náklady}) / \text{den} \quad (\text{TDD- Throughput Dollar Days})$$

2. Investice, zásoby

Zásoby (IDD – Inventory Dollar Days) zde označují peníze vydané na nákup potřebných komponent.

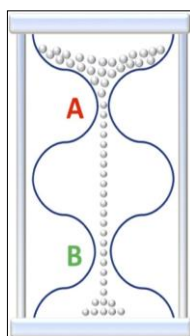
3. Provozní náklady

Provozní náklady (OE – operating expense) představují peníze vydané na vlastní transformaci zásob na průtok.

Mezi základní pilíře TOC patří:

1. Kritický řetěz a hrdlo lahve

Základní myšlenkou tohoto pilíře je, že zvětšování kapacity nekritických míst nezvětšuje „stabilitu systému“, spíše naopak. Na Obrázku 6 je naznačeno úzké místo body A a B, nekritické pracoviště by pak odpovídalo prostoru mezi těmito body. Kritické pracoviště je tedy závislé na úzkém místě. [41]

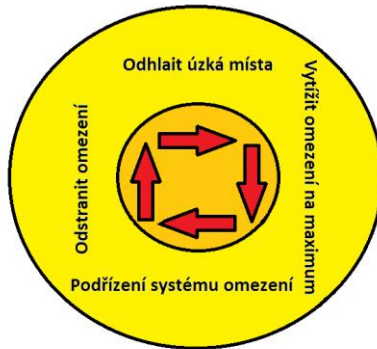


Obrázek 6: Schematické zobrazení úzkého místa [42]

Je možné říci, že Kritický řetěz na jedné straně výrazně zkracuje projektové časy, na druhé straně podstatně zvyšuje pravděpodobnost dokončení všech projektů na čas, bez omezování původních specifikací a s dodržáním rozpočtu. Kritický řetěz toto dokáže jak v případě jednotlivých projektů, tak, a to především v multiprojektovém prostředí. [44]

2. Proces neustálého zlepšování

Proces neustálého zlepšování je specifikován cyklem na Obrázku 7.



Obrázek 7: Proces neustálého zlepšování

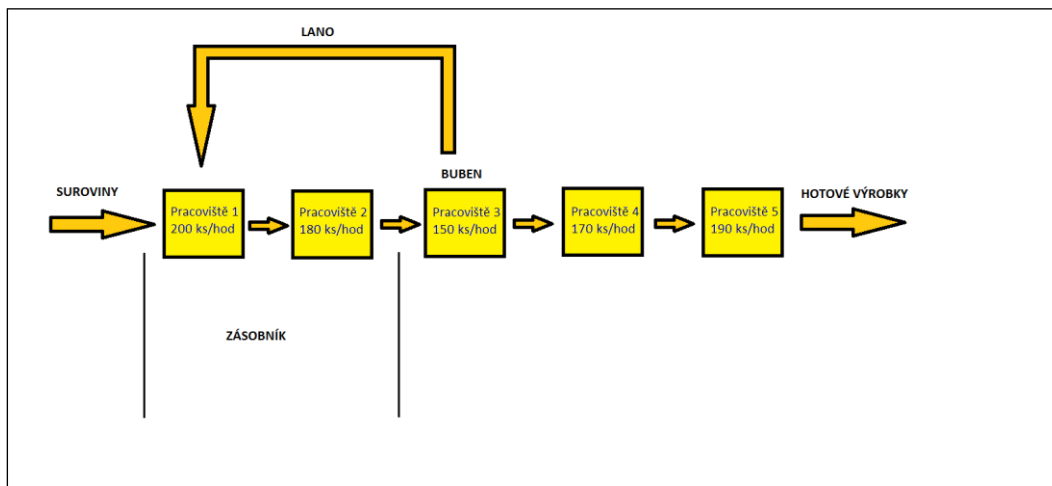
3. Metoda Drum, Buffer, Rope (DBR - buben, zásobník, lano)

V systémech TOC jsou vytvářeny 3 zásobníky jako pojistka proti nestálostem ve výrobních systémech. První zásobník je ve skladu hotových výrobků a chrání zákazníka proti výpadkům ve výrobě. Druhý zásobník je v zásobování a chrání výrobu proti nedostatkům v nákupu a zásobování. Třetí zásobník je časový zásobník před úzkým místem (viz Obrázek 8). Ten vzniká tím, že průběžné doby u úzkého místa jsou navýšeny tak, aby nevznikl nedostatek rozpracované výroby před tímto místem. Dobře pracující heuristika pro nastavení tohoto zásobníku určuje velikost rozpracované výroby (mezisklady) před úzkým místem tak, aby byla **tříkrát větší než průběžná doba** požadavků na úzké místo. Tato průběžná doba je odhad, který bere na zřetel průběžnou dobu výrobku, materiálu a čas pro obdržení rozpracované výroby před začátkem operace na úzkém místě. Například pokud očekávaná průběžná doba v řetězci před úzkým místem je 4 hodiny, pak se musí nechat 12 hodin rozpracovaná výroba v tomto řetězci.

Další klíčové slovo z koncepce TOC je „**lano**“ (rope), které představuje čas, který potřebuje výrobní dávka, aby se dostala z první operace (na laně) do úzkého místa za předpokladu, že jsou uvažovány pouze procesní časy. „Lano“ je obecně vzato nepřesná průběžná doba výrobní dávky směrem k úzkému místu, protože se ve výrobě mohou vyskytnout zdržení a dopravní problémy, které nejsou původně uvažovány. To je také důvod, proč průběžná doba úzkého místa bývá nadhodnocovaná. Při plánování úzkého místa se provede zpětné plánování a rozvrhnou se operace podél lana tak, aby se rozpracovaná dávka ocitla u úzkého místa včas. Protože se může stát, že první operace na laně je opožděná (kvůli podhodnocení průběžné doby), operace se na laně rozvrhují podle takových pravidel, aby dávky byly zpracovány, jakmile dorazí ke zdrojům na laně. Podobně jako JIT, tak i TOC je tažný systém před úzkým místem.

Klíčové slovo „**buben**“ (drum) reprezentuje tempo práce úzkého místa. Jestliže poptávka trhu je to omezení, pak tato poptávka je zároveň i zmiňovaný buben (za předpokladu, že výrobní systém zvládá požadavky trhu a žádný z výrobních

procesů není omezující). Pokud ale poptávka poroste nebo se zredukuje kapacita, pak se jeden z procesů může stát omezující (úzké místo), tj. „buben“, který posílá dál výrobní dávky za úzkým místem. Tento „buben“ určuje rozvrh procesů za úzkým místem a ty jsou rozvrhovány podle jeho rytmu. Tedy na rozdíl od JIT, TOC se chová jako tlačný systém ve výrobním řetězci za úzkým místem. [72]



Obrázek 8: Metoda „Drum, buffer, rope“

4.5.10 Heijunka

Heijunka znamená vyrovnaní výroby prostřednictvím objemu a skladby sortimentu. Podle tohoto systému se nevyrábí produkty podle aktuálního toku zákaznických objednávek. Heijunka bere v úvahu celkové objemy objednávek za určité období a jejich úrovně a rozplánuje je tak, aby stejné množství a mix výrobků byly vyrobeny každý den. [14]

4.5.11 Metoda 5S

V práci Masaakiho [15] je metoda „5S“ představena jako „pět kroků hnutí KAIZEN“. Pět S bylo pojmenováno podle japonských slov začínajících na s: seiri – seiton – seiso – seiketsu – shitsuke.

1. Krok *seiri* (příprava):

- Prováděná práce;
- zbytečné nářadí;
- nepoužité stroje;
- defektní výrobky;
- doklady a dokumenty.

Na pracovišti zůstává jen to, co je běžně používané, a vše nepotřebné se vytrídí (přesune do vzdáleného skladu, archivu apod. nebo se likviduje).

2. Krok *seiton* (uspořádání věcí)

Věci musí být v pořádku, na svém místě tak, aby byly rychle a pohodlně dostupné v případě potřeby.

3. Krok *seiso* (úklid)

Udržovat pracoviště čisté bez špíny, prachu, oleje atd. Pořádek často předchází poruchám a pomáhá udržovat hodnotu zařízení.

4. Krok *seiketsu* (osobní čistota)

Je třeba začít u sebe a pořádek a čistotu přijmout za samozřejmost.

5. Krok *shitsuke* (disciplína)

Dodržovat pracovní předpisy a zavedená pravidla.

Výsledkem zavedení a dodržování jednotlivých kroků této metody je dosažení přehledného, organizovaného, čistého, disciplinovaného a bezpečného pracoviště. Dílčím cílem této metody je zvýšit efektivitu činností na pracovišti. Odstranění nepotřebných předmětů a nástrojů se promítne do eliminace pohybů a úkonů nepřidávajících hodnotu výrobku. Dobře a účelně provedená implementace metody 5S povede k úspoře času. [13]

4.5.12 Metoda 7S

Model 7S byl poprvé použit dvěma konzultanty americké firmy McKinsey Tomem Petersem a Robertem H. Watermanem v osmdesátých letech minulého století. Tento model (metoda) patří do skupiny strategických modelů řízení vývoje společnosti. Využívá se například jako analytická metoda, pomocí které se hodnotí jednotlivé důležité části (struktury) společnosti a na základě jejich zhodnocení dochází k jejímu dalšímu vývoji (rozvoji). Dále se tento model využívá například při strategickém auditu společnosti, při strategickém řízení společnosti a také při řízení změn ve společnosti. [61]

Rozhodne-li se organizace pro realizaci interní analýzy, ať už v důsledku běžné plánovací činnosti či zamýšlené implementace změny, pak může být právě rámec 7S využit pro zmapování současné situace a silných a slabých stránek. Pro zhodnocení jednotlivých aspektů je nutné vytvořit nejprve seznam otázek (tzv. 7S Checklist) napomáhajících k vyhodnocení jednotlivých faktorů interního prostředí organizace. Příklady otázek, na které se hodnotitelé následně snaží nalézt odpovědi, mohou být pro jednotlivé složky modelu 7S následující:

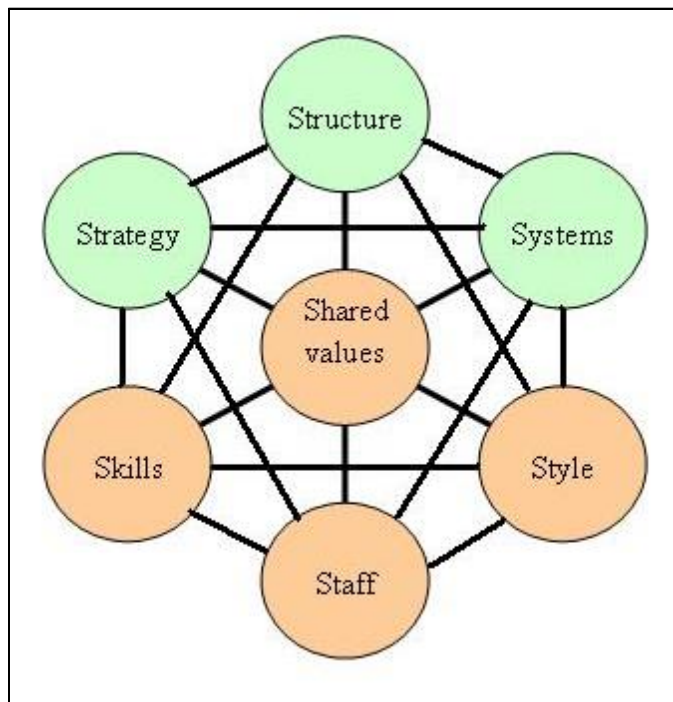
- Strategie: Jak budeme dosahovat stanovených cílů? Je naše strategie skutečně tou nejvhodnější k dosažení vymezených cílů? Jak se budeme vyrovnávat s externími hrozbami? Jak budeme využívat příležitostí? Je strategie dostatečně a vhodně rozpracována do krátkodobějších postupů a činností?
- Struktura: Jsou v organizaci jasně vymezeny vztahy podřízenosti a nadřízenosti? Je počet stupňů vedení odpovídající specifikům organizace? Jsou vymezeny odpovědnosti jednotlivých pracovníků? Jak jednotlivá oddělení

koordinují své činnosti? Je nastavená míra centralizace/decentralizace v organizaci efektivní? Je rozpětí řízení (počet přímo podřízených pracovníků) jednotlivých vedoucích optimální?

- Systémy: Jaké jsou hlavní systémy v organizaci? Jsou implementované systémy efektivní? Umožňují plynulý chod organizace? Jsou jednotlivé organizační jednotky ve vzájemné interakci, nebo jsou spíše izolované?
- Spolupracovníci: Má organizace optimální počet pracovníků? Je kvalifikace pracovníků optimální pro vykonávání jejich pracovní náplně? Jsou pracovníci motivováni možností kariérního postupu? Je rozsah a zaměření školení pro jednotlivé pracovníky optimální? Realizují vedoucí pracovníci hodnocení svých podřízených vhodným způsobem?
- Schopnosti: Jaké jsou nejvýraznější schopnosti reprezentované v organizaci? Co dělá organizace nejlépe? Chybí organizaci některé schopnosti? Jsou schopnosti jednotlivých pracovníků dostatečné pro výkon jejich práce? Jak jsou schopnosti pracovníků monitorovány, hodnoceny a posilovány?
- Styl: Jaký styl vedení lidí uplatňují vedoucí pracovníci v organizaci? Je daný styl vedení optimální vzhledem ke specifikům pracovního místa a pracovníků samotných? Jakým způsobem vedoucí pracovníci motivují své podřízené? Jak vedoucí s podřízenými komunikují?
- Sdílené hodnoty: Jaké jsou klíčové hodnoty v organizaci? Jaká je organizační kultura? Čím je specifická? Je slabá či silná? Nevytvářejí se v organizaci i hodnoty nežádoucí z hlediska stanovených cílů? Jednají pracovníci v souladu s hodnotami a cíli organizace? Jak je zvnitřněna stanovená vize v organizaci, v jejím každodenním chodu?

Uvedené otázky, vztahující se k jednotlivým prvkům modelu 7S, jsou pouze návrhy a každá organizace si může vytvořit vlastní seznam otázek relevantních pro svá vlastní specifika a zájmy. [62]

Obrázek 9 naznačuje, že pro efektivní fungování organizace je třeba souladu všech částí a změna kterékoliv z nich má vliv na ostatní. [63]



Obrázek 9: Sedmiprvkový způsob dekompozice organizace dle metody 7S [63]

4.5.13 Simulace výroby

Simulace může být chápána jako napodobení operací procesů nebo systému reálného světa v toku času. S její pomocí se generuje virtuální historie simulovaného systému. Ta pak vykresluje události, které by se uskutečnily v reálném systému. Samotné řešení je založeno na jednoduchém principu. Pomocí specializovaného simulačního nástroje se vytvoří počítačový model, který se bude chovat stejně jako realita. Na tomto počítačovém modelu se dělají pokusy, které odpovídají na otázky typu: „Co se stane, když...?“

Je tak možné předem otestovat např. co se stane, když:

- přidáme zásobník mezi stroje (změna layoutu),
- přidáme paralelní stroj v lince,
- změníme logiku řízení výroby.

Počítačová simulace je velmi významným inovačním nástrojem, s jehož pomocí lze velice rychle docílit značných úspor a zásadního zkrácení času potřebného pro realizaci projektu. Na simulačním modelu je totiž možné za několik minut „odsimulovat“ například průběh několikaměsíční výroby a důkladně prověřit různé varianty řešení. Při sériové až velkosériové výrobě je nutné jednotlivé komponenty výrobního systému naladit tak, aby nedocházelo k žádným zbytečným prostojům v celém výrobním (montážním) systému. Takové výrobní linky většinou kombinují ruční práci s automatizovanou. Pracovníci však přinášejí do výrobního systému nepravidelnosti, kdy např. čas operace je u pracovníka pokaždé jinak dlouhý. Tyto drobné odchylky časů operací na jednotlivých pracovních pozicích se mohou v rámci celé linky nasčítat, což může negativně ovlivnit celkovou výrobní kapacitu výrobní linky. [45]

Při projektování a provozu komplexních logistických a výrobních systémů vzniká množství problémů a rizik. Velký počet variant a složitost jejich vyhodnocování nedávají při klasických nástrojích projektantovi ani řídicímu pracovníkovi možnost výběru optimálního řešení. Jedná se o takzvaný efekt lokální optimalizace, která se vyskytuje nejen v provozu logistických a výrobních systémů, ale i při jejich projektu. Uvedený problém je zvláště složitý, protože optimalizaci je třeba provádět nejen na úrovni výrobního systému nebo dílny, ale i z hlediska celopodnikových cílů. Běžně se stává, že se tyto systémy projektují na základě takto zúžených pohledů a kritérií. Pokud je projekt příliš nákladný, dělají se jeho úpravy, aby ho bylo možné vůbec realizovat. Při neurčitosti budoucích požadavků na výrobu, při časovém tlaku, omezenosti financí a nedostupnosti moderních projekčních nástrojů je možné jen těžko mluvit o celkové optimalizaci parametrů systému. Často se potom stává, že už v projektu systému jsou nedostatky, které nedovolí plné využívání všech jeho možností. V průběhu provozu je potom nutné řešit problémy dodatečných úprav systému, což je spojené obvykle s dalším nárůstem nákladů. Pro řešení výše uvedených problémů je velmi vhodné využití počítačové simulace.

Každou simulaci můžeme chápat jako samostatný projekt a využít zásady řízení projektů. Znamená to definovat úkoly, navrhnout jejich logickou a časovou návaznost, určit nutné lidské a výpočtové zdroje, finanční nároky a dobu úhrady vložených prostředků.

Při aplikaci simulace platí dvě základní pravidla:

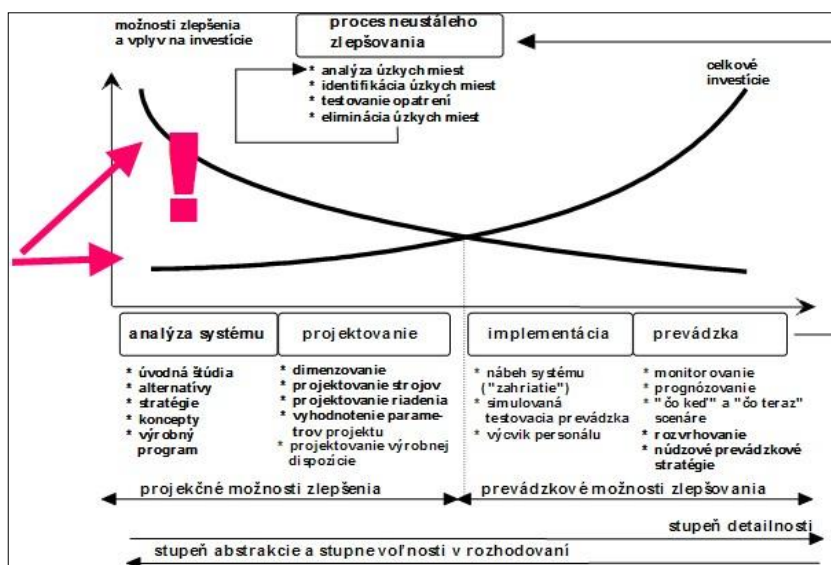
1. Přínosy dosažené aplikací simulace by měly být větší než náklady nutné na realizaci simulace a zlepšení v systému. Rozhodujícím kritériem pro to, aby simulace mohla být v praxi využita, bude přínos z jejího využití. Přínosy můžeme rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Při rozhodování o simulačním projektu bude platit jednoduché pravidlo: Simulace bude opodstatněná v případě, když jsou přímé přínosy ze simulace větší, než náklady na simulaci. V mnoha případech není cílem simulace přímý ekonomický efekt. Dodavatel výrobních nebo dopravních systémů může s pomocí simulace například dokazovat jejich funkčnost, výkon nebo spolehlivost, což může zlepšit jeho pozici na trhu. To, aby byl efekt simulace maximální, do značné míry ovlivňuje čas, kdy je simulace realizovaná.
2. Simulace by měla být použita už v počátečních fázích zpracování projektu. V procesu realizace a provozu zůstává už jen málo stupňů volnosti pro změny a zlepšování a většina takových zlepšení je spojená s vysokými dodatečnými náklady, které někdy mohou převyšovat přínosy ze zlepšení. V současnosti existuje více důvodů pro zvýšený význam simulační techniky v průmyslových podnicích:
 - Známé analytické metody (teorie hromadné obsluhy, obslužné sítě, lineární programování aj.) mají omezené použití při řešení praktických problémů.
 - Neustálý růst komplexnosti řešení, vysoké investice a vysoké nebezpečí špatných rozhodnutí, která musí být přijata v kratších časových intervalech.
 - Exploze informací a poznatků, rostoucí počet alternativ projektů.

- Nové požadavky na pružnosť v celú podnikovú organizačnú štruktúru, nové decentralizované, modulárne organizačné jednotky a nové organizácie práce (týmová práca, simultánny inžinýrství).
- Rychlý vývoj v oblasti počítačovej techniky a softwaru (nové výkonné a levné počítače, nové simulačné nástroje).

Pro ďalší vývoj podniku je žiadoucí rozšírenie tradičných aplikačných oblastí simulácie do nasledujúcich smérov:

- Nástroj pro analýzy a zlepšování výroby.
- Nástroj pro investiční rozhodování.
- Nástroj pro komunikaci, vysvětlování a výuku.
- Nástroj pro podporu myšlení a rozhodování.

Simulaci lze tedy využit nejen krátkodobě, pro řešení aktuálních výrobních nedostatků, ale také jako nástroj dlouhodobého zlepšování v podniku. Na to odkazuje Obrázek 10, který shrnuje vliv simulace na „Proces neustálého zlepšování“.



Obrázek 10: Simulace v životním cyklu systému [46]

Pomocí simulácie lze sledovať kľúčové charakteristiky výkonu (Key Performance Indicators – KPI), ktoré určujú mieru úspešnosti té ktoré činnosti. Najčastejši používané charakteristiky výkonu výrobných systémů při simulaci jsou:

1. Výrobní výkon (počet ks / doba simulace);
2. průběžná doba výrobku;
3. čas čekání výrobku před pracovištěm;
4. čas, který výrobek strávil transportem;
5. velikost zásob (rozpracovanost výroby) – WIP (Work in Process);
6. velikosti zásob – počty čekajících dílů;
7. využití zdrojů (zařízení, personál apod.);
8. čas poruchy zařízení, počet poruch v daném časovém intervalu;
9. čas blokování zařízení;
10. čas nečinnosti zařízení (čekání na práci);

11.čas preventivní údržby zařízení a jeho vliv na bezporuchový provoz;

12.počet dílů, které bylo nutné opravovat;

13.počet neopravitelných zmetků;

14.nákladové ukazatele výroby (náklady, zisk...);

15.návratnost investic (ROI - Return On Investments) apod. [46]

Detailněji jsou klíčové indikátory výkonnosti popsány v kapitole 5.3 Klíčové indikátory výkonnosti.

5 SIMULACE DISKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

Kapitola 5 se zabývá metodou simulace diskrétních výrobních systémů, která byla zvolena jako optimální metoda pro redukci průběžných dob. V kapitole 5.2 jsou detailně popsány koncepty modelování, jelikož právě ty vytvářejí základ pro metodu simulace. Vhodnost využití této metody je odůvodněna výhodami tohoto přístupu a kompenzací jeho nevýhod, jak shrnuje kapitola 5.4 a 5.5. Dále je v kapitole 5 popsán postup tvorby simulační studie od formulace problému až po implementaci řešení.

5.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MODELOVÁNÍ A SIMULACE DISKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

Diskrétní simulační modely jsou charakterizovány tím, že všechny stavové proměnné nabývají pouze diskrétních hodnot a v průběhu času se mění skokem. Nejčastějším případem diskrétních modelů jsou aplikace teorie hromadné obsluhy. Pro diskrétní simulační modely jsou charakteristické následující rysy:

- Proměnný počet prvků systému (požadavků);
- reprezentace front pomocí seznamů, které jsou navzájem propojeny;
- vysoký stupeň paralelnosti výpočtu;
- velké nároky na řízení programu (vyplývá z paralelnosti);
- vysoké nároky na paměť (velký počet prvků - požadavků). [5]

Pole modelování a simulace je stejně rozmanité jako skupina lidí. Každá disciplína vyvinula nebo vyvíjí vlastní modely a vlastní přístup a nástroje pro zkoumání těchto modelů. [31]

Simulace zahrnuje generování a pozorování umělé historie systému, na jehož základě lze vyvodit závěry týkající se provozních vlastností skutečného systému, který je simulací reprezentován. Za využití simulačního software je sestaven diskrétní simulační model. Model diskrétních událostí může být definován jako ten, ve kterém se stavové veličiny mění pouze v těch diskrétních bodech v čase, kdy dochází k událostem. Model reprezentuje dynamické charakteristiky fyzického systému. Simulační model má dvě výhody. Jednak umožňuje vytvořit varianty různých technických či logistických řešení. Na těchto variantách lze zkoumat, měnit a vyhodnocovat podmínky procesu a další parametry bez nutnosti měnit aktuální výrobní systém. To také znamená, že nevznikají ztráty způsobené poškozením polotovaru či výrobního zařízení. Druhou výhodou je, že model ukazuje (s určitým stupněm spolehlivosti) chování a stav procesů v budoucnosti. Na základě výstupů simulačního modelu (jeho variant) lze analyzovat chování stávajícího nebo ještě neexistujícího výrobního systému, odhalit jeho úzká místa, zvýšit výrobnost systému, optimalizovat využití zdrojů atd. Zkoušení variant a vyhodnocování chování reálného systému je po všech stránkách nevýhodné, často nebezpečné a pravděpodobnost poškození samotného zařízení nebo vyráběného produktu je příliš vysoká. [1]

5.2 KONCEPTY MODELOVÁNÍ

Existuje několik konceptů tvořících základ simulace. Patří mezi ně systém a model, události, proměnné stavu systému, entity a atributy, postup zpracování, aktivity a zpoždění a nakonec definice simulace diskrétních událostí.

- **Systém, model a události**

Model je reprezentace skutečného systému. Bezprostředně mohou nastat pochybnosti o definici předpokládaných omezení nebo hranic modelu, které představují systém. Model by měl být dostatečně složitý, aby odpověděl na položené otázky, ale ne příliš komplexní.

Událost je akce, která změní stav systému. Událost například zahrnuje vstup materiálu do výroby, jeho zpracování na polotovary, dokončení a odvedení do expedice. Jsou definovány dva typy událostí: vnitřní a vnější události, nazývané také endogenní a exogenní. V tomto příkladu může být endogenní událostí zpracování polotovaru na zdroji, protože tento proces probíhá uvnitř simulovaného výrobního systému. Exogenní událostí je odvedení materiálu do expedice. Nicméně odvedení materiálu do expedice zasahuje do systému, a to je třeba brát v úvahu.

Diskrétní simulační modely kontrastují s jinými typy modelů, jako jsou matematické modely, deskriptivní modely, statistické modely a vstupně-výstupní modely. Mnoho matematických, statistických a vstupně-výstupních modelů představuje explicitně vstupy a výstupy systému, ale představují i vnitřní části modelu s matematickými nebo statistickými vztahy. Příkladem je matematický model z fyziky (viz níže).

$$F = m * a$$

Kde: F = síla [N]

M = hmotnost [kg]

a = zrychlení [m/s^2]

Simulační modely diskrétních událostí obsahují podrobnou reprezentaci skutečných vnitřních částí systému. Modely diskrétních událostí jsou dynamické, tj. tok času hraje klíčovou roli. Většina matematických a statistických modelů jsou statické v tom, že představují systém v pevném bodě v čase.

- **Proměnné stavu systému**

Proměnné stavu systému jsou souborem všech informací potřebných k definici toho, co se děje uvnitř systému na úrovni dosažení požadovaných výstupů v daném okamžiku. Stanovení proměnných stavu systému znamená, že co může být proměnnou stavu systému v jednom případě, nemusí jí být v jiném případě, i když je fyzický systém stejný.

Určení proměnné stavu systému je ve stejné míře uměním jakožto vědou. Nicméně v průběhu procesu modelování vyjde každé opomenutí snadno najevo. Na druhou stranu mohou být zbytečné stavové proměnné eliminovány.

V rámci proměnných stavu systému může být rozdíl mezi modely diskretních událostí a spojitými modely založen na proměnných potřebných pro sledování stavu systému. Proměnné stavu systému v modelech diskretních událostí zůstanou konstantní v celém intervalu času a jejich hodnoty se změní pouze v určitých přesně definovaných bodech nazývaných časy událostí. Spojité modely mají proměnné stavu systému definované diferenciálními nebo diferenčními rovnicemi, které vedou k proměnným, jež se mohou měnit průběžně v čase.

Některé modely jsou smíšené, to znamená, že obsahují diskretní i kontinuální události. Existují také spojitě modely, které jsou považovány za diskretní modely po přehodnocení proměnných stavu systému a naopak.

- **Entity a atributy**

Entita představuje objekt, který vyžaduje explicitní definici. Entita může být dynamická v tom, že "se pohybuje" napříč systémem, nebo může být statická, když obsluhuje další entity. V předešlém příkladu je materiál dynamická entita, zatímco výrobní systém, do kterého vstupuje, je statická entita.

Konkrétní entita může mít své konkrétní atributy. Proto by měli být atributy považovány za lokální hodnoty. V předešlém příkladu by atributem materiálu mohl být čas příchodu do výrobního systému. Atributy, které jsou pro účely simulace podstatné v jednom experimentu, nemusejí být podstatné v jiném.

Proto pokud jsou vyráběny červené a modré díly, může být barva atribut. Pokud ale sledujeme průběžnou dobu obou typů dílů, nemusí být atribut barvy důležitý. Z tohoto příkladu je vidět, že mnoho entit může mít stejný atribut nebo atributy (tj., více než jeden díl může mít atribut "červený").

- **Zdroje**

Zdroj je entita, která poskytuje služby pro dynamické entity. Zdroj může obsluhovat jednu nebo více dynamických entit zároveň, tj. pracovat jako paralelní server. Dynamická entita může vyžadovat jeden nebo více zdrojů. Pokud je zdroj zaneprázdněn, žádající entita se připojí do fronty, nebo vykoná nějakou jinou činnost (např. se přesměruje na jiné zdroje). Pokud je zdroj volný, entita jej na určitou dobu obsadí a pak zdroj uvolní pro další použití.

V textu bylo zmíněno, že zdroj může být zaneprázdněný a volný. Existuje ovšem více stavů, kterých může zdroj nabývat. Zdroj může být například ve stavu nečinný, zaneprázdněný, seřizovaný, porouchaný, opravovaný, blokován, mimo směnu atd.

- **Seznam zpracování**

Entity jsou řízeny tak, že jsou jim přidělovány zdroje. Tyto zdroje, jak již bylo zmíněno, poskytují entitám služby. Z entit se tímto stávají události a pozastavují

svou činnost do budoucnosti, nebo se zařadí do uspořádaného seznamu. Seznamy se používají k reprezentaci fronty.

Seznamy se nejčastěji zpracovávají podle FIFO (first in first out, tedy první dovnitř, první ven), ale existuje mnoho dalších možností. Například může být seznam zpracováván dle LIFO (last in first out, tedy poslední dovnitř, první ven) v závislosti na hodnotě atributu, nebo náhodně. Hodnota atributu může být důležitá pro SPT (shortest processing time, tedy nejkratší doba zpracování) plánování. V tomto případě může být doba zpracování uložena jako atribut každé entity. Tyto entity jsou pak seřazeny podle hodnoty tohoto atributu s nejnižší hodnotou v čele fronty.

- **Činnosti a zpoždění**

Činnost je délka času, jejíž doba trvání je známá před zahájením činnosti. To znamená, že když tato doba započne, může být její konec naplánován. Doba trvání může být konstantní hodnota, náhodná hodnota ze statistického rozdělení, výsledek rovnice, vstup ze souboru nebo může být vypočtená na základě stavu události. Doba obsluhy může být konstantní, například 10 minut pro každou entitu. Může být náhodná, dle exponenciálního rozdělení se střední hodnotou 10 minut. Tato doba by mohla být i například 0,9krát konstantní hodnota od času 0 do času 4 hodiny a 1,1krát standardní hodnota po čas 4 hodiny. Nebo by mohla být 10 minut, když předchozí fronta obsahuje nejvíce čtyři entity a 8 minut, pokud je ve frontě pět nebo více entit.

Zpoždění je nedefinovaná doba a je způsobena určitou kombinací podmínek systému. Když se entita připojí do fronty zdroje, čas, po který zůstává ve frontě, může být neznámý a záviset na dalších událostech, které se mohou vyskytnout. Příkladem takové události by mohl být příchod spěšné zakázky, která prioritně zabere zdroj. Pokud nastane tato situace, pak entita, která je aktuálně zpracovávána, postoupí zdroj prioritní zakázce. Dalším příkladem může být porucha zdroje.

Simulace diskrétních událostí obsahují činnosti, které způsobují urychlení toku. Většina simulací diskrétních událostí ale také obsahuje zpoždění, při kterém entity musí čekat. Začátek a konec činnosti nebo zpoždění je událost.

- **Simulační model diskrétních událostí**

Model diskrétních událostí může být definován jako ten, ve kterém se stavové veličiny mění pouze v těch diskrétních bodech v čase, kdy dochází k událostem. Události se vyskytují jako důsledek činnosti času a zpoždění. Entity si mohou konkurovat v získávání zdrojů systému, případně při vstupu do fronty na dostupné zdroje. Činnost a doba zpoždění může "zadržet" entity po určitou dobu.

Simulační model diskrétních událostí je prováděn v čase mechanismem, který posouvá simulační čas kupředu. Stav systému je aktualizován při každé události společně s alokací a uvolňováním zdrojů, které jsou během této doby využívány.

[2]

5.3 KLÍČOVÉ INDIKÁTORY VÝKONNOSTI

Počítačovou simulaci lze chápat nejen jako nástroj pro predikci chování výrobního systému, ale také jako prostředek pro zjištění jeho výkonových charakteristik. Takové charakteristiky se nazývají Klíčové indikátory výkonnosti (Key Performance Indicators – KPI).

KPI je možné definovat jako ukazatele, které pomáhají organizaci dosáhnout stanovených cílů pomocí definování a měření průběhu jejich plnění. [47] Jedná se tedy o parametry pro měření výkonnosti, na jejichž základě se hodnotí úspěch nebo neúspěch činnosti. Lze je hodnotit pro celý projekt, pro některé zakázky, zdroje nebo výrobky.

Klíčových indikátorů výkonnosti lze definovat velké množství, proto je pro důležitý jejich správný výběr. Ten se lze provádět na základě 3 pilířů:

1. Správné pochopení toho, co je pro organizaci důležité;
2. posouzení současného stavu podniku a klíčových aktivit;
3. různá oddělení měřící výkonnost mají různé požadavky na KPI (např. finanční oddělení vs. Výroba).

V zásadě lze KPI rozdělit dle oblastní měření na:

- KPI pro výrobky;
- KPI pro zdroje;
- KPI pro operace;
- KPI pro zakázky;
- KPI za období.

Jednotlivé indikátory zmíněných oblastní a vazby mezi nimi jsou uvedeny v práci jako přílohy č. 1 až 8.

5.4 VÝHODY A NEVÝHODY SIMULAČNÍHO PŘÍSTUPU

Konkurenční prostředí v počítačovém průmyslu vedlo k technologickým změnám, které umožňují výrobním společnostem produkovat neustále lepší výrobky. Zdá se, že každý týden další společnost uvádí na trh své nejnovější produkty, z nichž každý má více možností, schopností a tím i moci. Na vývoji v počítačovém průmyslu je jedinečné to, že často působí jako odrazový můstek pro další související odvětví. Jedním z nich je i úsek simulačního softwaru. Hardware se stává silnější, přesnější, rychlejší a snadnější pro použití a software jej následuje.

Počet podniků využívajících simulace rychle roste. Mnoho manažerů si uvědomuje výhody použití simulace pro více než jen jednorázové účely. Kvůli pokrokům v softwaru, manažeři zahrnují simulaci do jejich každodenních činností stále pravidelněji.

5.4.1 Výhody simulace

Pro většinu firem je využívání výhod simulace více než jen poskytování náhledu do budoucnosti. Výhody simulace jsou uvedeny mnoha autory [Banks, Carson, Nelson, a Nicol [26]; Law a Kelton [27]; Pegden, Shannon a Sadowski, [28], a Schriber, [29]] a jsou zahrnuty v následujících případech:

1. Správný výběr

Simulace umožňuje testovat každý aspekt navrhované změny bez nasazení zdrojů k jejich získání. To je důležité, protože jakmile je učiněno těžké rozhodnutí, například jakmile byly nainstalovány manipulační systémy, změny a opravy mohou být extrémně drahé. Simulace umožňuje testovat návrhy změn bez nasazení zdrojů.

2. Stlačení a rozšíření času

Stlačením nebo rozšířením času simulace umožňuje zrychlit nebo zpomalit jevy, takže je možné je důkladně prozkoumat. Je možné zkoumat celou směnu během několika minut, nebo zkoumat dvě hodiny všechny události, které nastaly během jedné minuty simulované činnosti.

3. Odpověď na otázku "Proč?"

Manažeři často chtějí vědět, proč se některé jevy vyskytují v reálném systému. Pomocí simulace lze odpovědět na otázku "proč dochází k tomuto jevu" reprezentací reality a detailním vyšetřením systému. Toho nelze dosáhnout v reálném systému, protože je velmi složité jej zkoumat v jeho celistvosti.

4. Zkoumání možností

Jednou z největších výhod použití simulačního softwaru je to, že jakmile je vytvořen validní simulační model, je možné nasimulovat nové podmínky, provozní postupy nebo metody bez nákladů a bez narušení reálného systému. Změny jsou začleněny do modelu a lze pozorovat jejich účinky na modelu, což je výhodnější než na reálném systému.

5. Diagnostika problémů

Moderní továrna je velmi složitá. Je nemožné, aby byly brány v potaz všechny interakce probíhající v jeden daný moment. Simulace umožňuje lépe pochopit interakce mezi proměnnými, které tvoří tyto komplexní systémy. Diagnostika problémů a získání náhledu na význam těchto proměnných zvyšuje chápání jejich vlivů na výkon celého systému.

6. Identifikace překážek

Úzká místa bývají velkým problémem pro výrobní podniky. Nicméně pomocí simulace lze provádět analýzu úzkých míst, objevit příčinu zpoždění informací, materiálu, procesů atd.

7. Rozvoj znalostí

V mnoha případech jsou návrhy výrobního systému nebo jeho změny založeny pouze na myšlence, jak by měl systém fungovat, spíše než na profesionální analýze. Simulační studie tvoří podporu pro pochopení toho, jak by měl systém opravdu fungovat.

8. Odpověď na otázky typu "Co když"

Budoucnost generuje změny. Odpověď na všechny otázky typu "co když" je užitečná jak pro navrhování nových systémů, tak i pro rekonstrukce stávajících systémů. Simulace odpovídá na otázky jako například: Co když se automaticky řízené vozidlo (AGV - Automated Guided Vehicle) odstaví z provozu na delší dobu? Co když se poptávka po produktech zvýší o 10 procent? Interakce všech scénářů, které mohou během projektu nastat, lze za pomoci simulace zhodnotit již ve fázi návrhu a přípravy systému. Pak lze sestavit model tak, že odpovídá na otázky vztahující se k těmto scénářům.

9. Návratnost investice

Obvyklá cena simulační studie je podstatně méně než 1% z celkové částky vynaložené na provádění návrhu nebo redesignu. Vzhledem k tomu, že náklady na změnu nebo úprava systému po instalaci jsou vysoké, simulace je investicí s vysokou návratností. [2]

5.4.2 Nevýhody simulace

Mezi nevýhody simulace patří následující:

1. Tvorba modelu vyžaduje speciální znalosti

Tvorba simulačního modelu je dovednost, které se lze naučit v průběhu času a za pomoci zkušeností. Kromě toho, jsou-li dva modely stejného systému konstruovány dvěma jedinci, mohou být podobné, ale je velmi pravděpodobné, že nebudou stejné.

2. Výsledky simulace se mohou obtížně interpretovat

Většina výstupů ze simulace jsou v podstatě náhodné proměnné (jsou obvykle založeny na náhodných vstupech). Může být tedy těžké určit, zda je pozorování výsledkem vzájemných systémových vztahů nebo náhodnosti.

3. Simulační modelování a analýza mohou být časově náročné a drahé

Šetření na zdrojích pro modelování a analýzu může vést k simulačnímu modelu a analýze, jež nejsou dostatečné pro zadaný úkol.

4. Nevhodné použití simulace

Simulace se používá v případech, kdy je analytické řešení možné, nebo dokonce i lepší. [2]

5.5 KOMPENZACE NEVÝHOD SIMULACE

Předchozí čtyři nevýhody mohou být kompenzovány následovně:

1. Simulátory

Prodejci simulačního softwaru aktivně rozvíjejí balíčky tak, aby obsahovali modely, které potřebují pro svůj provoz pouze vstupní data. Tyto modely mají obecné označení "simulátory" nebo šablony.

2. Výstupní analýza

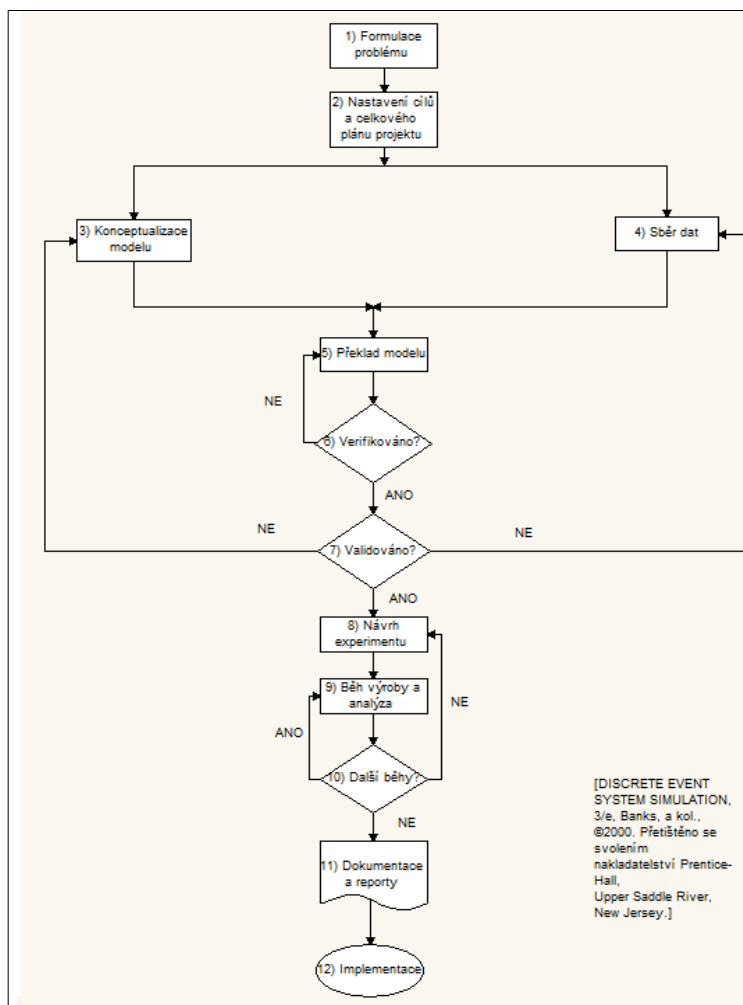
Většina dodavatelů simulačního softwaru vyvinula v rámci svých balíčků funkci výstupní analýzy pro provádění velmi rozsáhlé analýzy. Tím se snižují výpočetní požadavky na straně uživatele, i když je stále potřeba, aby pochopil proceduru analýzy.

3. Rychlejší zpracovávání simulace

Simulace může být dnes provedena rychleji než včera. To lze také přispat jako zásluhu mnoha simulačních balíčků. Například mnoho simulačních softwarových produktů obsahuje moduly pro modelování manipulace materiálu pomocí transportérů, jako jsou dopravníky a automaticky řízená vozidla. [2]

5.6 KROKY SIMULAČNÍ STUDIE

Na Obrázku 11 je znázorněna posloupnost kroků simulační studie. Tyto kroky by měly navést sestavovatele modelu ke správnému postupu tvorby simulačního modelu. Podobné údaje a jejich interpretace lze nalézt v jiných zdrojích, jako jsou Pegden, Shannon, a Sadowski [28] a Law a Kelton [27]. V následujícím textu je čerpáno ze zdroje od autorů Banks, Carson, Nelson a Nicol [26].



Obrázek 11: Vývojový diagram posloupnosti kroků simulační studie [2]

1. Formulace problému

Každá simulační studie začíná stanovením problému. Pokud je problém definován tím, kdo zadal řešení daného problému (klient), musí být simulační analytik mimořádně opatrný, aby se ujistil, že je problém srozumitelný. Pokud problém formuluje simulační analytik, je důležité, aby klient formulaci rozuměl a souhlasil s ní. Obecně se doporučuje, aby problém formuloval simulační analytik a byl odsouhlasen klientem. I přes všechna tato opatření je možné, že se počáteční definice problému bude muset přeformulovat v průběhu vývoje simulační studie.

2. Nastavení cílů a celkového plánu projektu

Jednodušeji řečeno se v tomto kroku připraví návrh. Při tvorbě návrhu se neklade důraz na umístění analytika a klienta, jakožto interního a externího konzultanta. Cíle definují otázky, které mají být zodpovězeny v průběhu simulační studie. Plán projektu by měl obsahovat různé scénáře, které budou šetřeny. Plán projektu by měl obsahovat časové termíny, potřebné pracovníky, hardwarové a softwarové požadavky, pokud chce klient spustit model a provádět analýzu, průběh (body) šetření, výstup z každého bodu, náklady na studii a účetní postupy, pokud existují.

3. Konceptualizace modelu

Předmětem šetření je reálný systém. Ten je abstrahován pomocí konceptuálního modelu, řady matematických a logických vztahů týkajících se komponent a struktury systému. Tvorba simulačního modelu by měla začínat jednoduše, namodelováním základních komponent a vztahů systému. V průběhu tvorby by se měl model stávat složitějším, až bude dosaženo cílové komplexnosti modelu. Například je tvořen simulační model výrobního systému s manipulací s materiálem. Je vytvořen základní model se vstupy materiálu do systému, zdroji, frontami atd. Poté jsou namodelovány například poruchy zdrojů a směny. Dále jsou do modelu přidány funkce pro manipulaci s materiálem. Nakonec jsou zaneseny do modelu speciální funkce. Výstavba nadměrně komplexního modelu bude navyšovat cenu studie i čas na její dokončení, aniž by došlo ke zvýšení kvality výstupů. Zapojení klienta zvýší kvalitu výsledného modelu a jeho důvěru v užívání.

4. Sběr dat

Krátce poté, co je návrh přijat, měl by být klientovi předložen plán datových požadavků. V nejlepším případě by měl klient shromáždit druh dat, který je potřeba a to i v požadovaném formátu. Takto shromážděná data by byla odeslána v elektronické podobě simulačnímu analytikovi. Klient častokrát uvádí, že požadovaná data jsou k dispozici. Nicméně když jsou data doručena analytikovi, mohou být docela odlišná, než jak se předpokládalo. Pokud jsou vstupní data kvalitní, může simulační analytik snadno sestavit model, zatímco sběr dat dále pokračuje.

5. Překlad modelu

Koncepční model sestavený v kroku 3 je třeba zakódovat do počítačem rozpoznatelné formy, tedy jako operační model.

6. Verifikace modelu

Jakmile je sestaven operační model, lze provést verifikaci (ověření správnosti) modelu. Ověřuje se, zda operační model funguje správně. I když je model velmi malý, může se stát, že s ověřením správnosti nastanou potíže. Je totiž nutné, aby verifikace byla prováděna jako kontinuální proces. Pro simulačního analytika je nemyslitelné čekat, až je celý model dokončen, a poté provádět jeho verifikaci. Jako účinná pomůcka k ověření správnosti modelu se také využívají interaktivní ovladače, nebo debuggry.

7. Validace modelu

Validace je determinace toho, že je koncepční model přesnou reprezentací reálného systému. Validace odpovídá na otázku, zda může být model, reprezentující reálný systém, využit pro účely experimentování. Pokud existuje reálný systém (neboli základní systém), pak je nejlepším způsobem, jak validovat

model, porovnat výstupy z modelu se základním systémem. Základní systém ovšem nemusí vždy existovat. Existuje mnoho metod pro provedení validace.

8. Návrh experimentu

Pro každý scénář, který má být simulován, musí být rozhodnuto o délce simulačního běhu, počtu cyklů (tzv. replikací) a způsobu inicializace.

9. Běh výroby a analýza

Běh výroby, a jeho následná analýza, se používají k odhadu měřítek výkonu pro scénáře, které jsou právě simulovány.

10. Další běhy

Na základě analýzy běhů, které byly dokončeny, určí simulační analytik, zda jsou potřeba a jestli musí být simulované další scénáře.

11. Dokumentace a reporty

Tvorba dokumentace je nutná z mnoha důvodů. Pokud se simulace modelu bude používat znovu stejným analytikem nebo i jinými, bude nezbytné pochopit, jak simulační model funguje. Dokumentace upevňuje důvěru v simulační model, takže zákazník může rozhodovat na základě analýzy. Adekvátní dokumentace může také značně usnadnit úpravu modelu.

Výsledky všech analýz by měly být uvedeny jasně a výstižně. To umožní klientovi přezkoumat konečnou formulaci, alternativy, které byly řešeny, použitá kritéria, výsledky experimentů a doporučení analytika.

12. Implementace

Report připravený v kroku 11 je jen podpůrnou informací, kterou klient používá k učinění svých rozhodnutí. Pokud byl klient zapojen do přípravy studie a pokud simulační analytik následoval důsledně všechny kroky, pak se pravděpodobnost úspěšné implementace zvyšuje.

6 NAVRHOVANÝ PŘÍSTUP ŘEŠENÍ

Pro účely dizertační práce byl zvolen simulační přístup k redukci průběžných dob. V kapitole 6.1 je odůvodněna volba tohoto přístupu.

Pro redukci průběžných dob existuje velké množství metod a přístupů. Z důvodu ucelení metodologie je v kapitole 6.2 shrnut obecný přístup k redukci průběžných dob, který zahrnuje stanovení cíle, postup a prezentaci procesu redukce.

Na jednotlivé typy průběžných dob, které jsou definovány v kapitole 6.3, mohou mít vliv různé faktory, jako jsou například procesní časy, velikost výrobních dávek, délky front atd. Proto kapitola 6.3 zahrnuje také simulační analýzu těchto faktorů.

6.1 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ A DŮVODY VOLBY SIMULAČNÍHO PŘÍSTUPU

Přístupů k redukci průběžných dob ve výrobních systémech existuje velké množství. Některé důvody pro zvolení simulačního přístupu jsou zmíněny v kapitole 5.4.1 Výhody simulace, další vyplývají z nedostatků přístupů popsaných v kapitole 4.5 Metody redukce průběžné doby.

V dnešním silně konkurenčním prostředí je pro každý výrobní podnik důležité, aby uspěl na trhu a zvýšil svou ziskovost. Nicméně vybudovat výrobní systém není otázka dnů, týdnů, či měsíců. Je to úkol obvykle na několik let.

Obecně existuje mnoho postupů pro zvýšení efektivnosti diskrétní výroby. V případě diskrétních výrobních systémů může být většina metod komplikovaných, náročných na zdroje (např. peníze a čas) a často mohou takové metody selhat. Řešením je využití počítačové simulace, která umožňuje napodobení procesu nebo systému v reálném světě v průběhu času.

Během analýzy a porovnání různých metod na redukci průběžné doby bylo zjištěno, že **pro potřeby dizertační práce bude využit simulační přístup**, protože má následující výhody oproti metodám zmíněným v kapitole 4.5 Metody redukce průběžné doby (viz též kapitola 5.4.1 Výhody simulace):

- Simulace umožňuje testovat každý aspekt navrhované změny bez nasazení zdrojů k jejich získání.
- Stlačením nebo rozšířením času umožňuje simulace zrychlit nebo zpomalit jevy.
- Pomocí simulace lze odpovědět na otázku "proč dochází k nějakému jevu" reprezentací reality a detailním vyšetřením systému.
- Je možné nasimulovat nové podmínky, provozní postupy nebo metody bez nákladů a bez narušení reálného systému.
- Simulace umožňuje lépe pochopit interakce mezi proměnnými, které tvoří tyto komplexní systémy.
- Pomocí simulace lze provádět analýzu úzkých míst.
- Simulační studie tvoří podporu pro pochopení toho, jak by měl systém opravdu fungovat.

- Simulace umožňuje zobrazení návrhů nad rámec CAD (Computer Aided Design) výkresů pomocí funkce animace.
- Použití simulace pro prezentaci změny návrhu vytvoří objektivní možnosti. Je možné vybrat ty návrhy a změny, které vykazují nejvíce žádoucí výsledky.
- Simulace umožňuje interakce různých scénářů, tedy poskytuje odpovědi na otázky typu "co když".
- Simulace je investicí s vysokou návratností.
- Simulace může být použita k určení požadavků na návrh systému.

6.2 OBECNÝ PŘÍSTUP K REDUKCI PRŮBĚŽNÉ DOBY

Tato kapitola se zabývá postupem redukce průběžné doby z obecného pohledu. V kapitole je popsán princip analýzy redukce průběžné doby výroby a jednotlivé její kroky, které jsou detailně rozebrány.

6.2.1 Cíle analýzy redukce průběžné doby

Hlavním cílem analýzy redukce průběžné doby je mapovat výrobek od vstupu materiálu do podniku až po distribuci hotového produktu a analyzovat všechny druhy plýtvání v procesech. [48]

Přínosem analýzy redukce průběžné doby je zkrácení dodacích lhůt a zrychlení odbavení zakázek. Zlepší se plánování výroby a sníží se vázanost finančních prostředků v zásobách a v rozpracované výrobě. Efektivněji se využije čas a kapacita v procesu. [49]

Obecně lze identifikovat následující cíle analýzy průběžné doby:

- Podchytit a dokumentovat všechny kroky procesu;
- kvantifikovat čas a délku každého kroku procesu;
- identifikovat, kdy se přidává hodnota procesu;
- analyzovat, jak činnosti nepřidávající hodnotu ovlivňují náklady;
- zjistit, jak redukce průběžných dob ovlivňuje parametry procesu.

6.2.2 Příklad obecného přístupu k redukci průběžné doby

Pro lepší pochopení problematiky obecného přístupu k redukci průběžné doby je uveden příklad výměny oleje auta v autoservisu A, B a C, který lze analogicky převést na procesy ve výrobním prostředí. V Tabulce 2 je znázorněn postup výměny oleje v jednotlivých autoservisech.

Průběžná doba - výměna oleje auta		
Servis A Servis B	Servis C	
1. Zavolat a domluvit termín		
2. Odvézt auto do	1. Odvézt auto do	1. Odvézt auto do

servisu	servisu	servisu
3. Vyplnit a podepsat objednávku na výměnu oleje	2. Vyplnit a podepsat objednávku na výměnu oleje	2. Vyplnit a podepsat objednávku na výměnu oleje a zaplatit, dokud se vyměňuje olej
4. Odjet ze servisu městskou dopravou		
5. Volat, jestli je auto hotové		
6. Jet zpět do servisu		
7. Zaplatit výměnu oleje	3. Zaplatit výměnu oleje	
8. Vyhledat auto na parkovišti servisu	4. Čekat	
9. Zkontrolovat olej	5. Vyzvednout si auto	
10. Odjet ze servisu	6. Odjet ze servisu	3. Odjet ze servisu
Celkem obvykle 8 hod.	Vylepšení na 0.5 hod.	Ideální případ za 10 min.

Tabulka 2: Přehled postupu procesních kroků výměny oleje v autoservisech A, B a C.

Průběžnou dobu lze definovat jako celkovou dobu potřebnou pro dokončení jedné jednotky výrobku nebo služby. Je důležité eliminovat plýtvání, protože čím delší je průběžná doba výroby nebo služby, tím větší jsou náklady. Každý proces má průběžnou dobu: příprava business plánu, malování, výroba strojů a nástrojů, výstavba domu, servis auta, bankovní procesy, nakup potravin apod.

Při plánování budoucího stavu je důležité najít proces, který udává takt ostatním procesům a podle něj pak rozvrhovat výrobu. Je nutné vyvážit dávky výrobků tak, aby se optimalizoval jednak princip tahu a zároveň čas na seřizování stroje. Hotový plán nového uspořádání se před jeho realizací podrobí týmovému zkoumání a diskuzi. Očekávaným výsledkem realizace nového toku hodnot je především redukce průběžné doby výroby a redukce ploch, které výroba zabírá. [49]

6.2.3 Postup při redukci průběžné doby

Tok hodnot se zaznamenává do diagramu, který se tvoří přímo ve výrobě – využívá se princip „Genchi Genbutsu“ [49], který prosazuje zlepšování procesů detailním pochopením reality přímo u zdroje problému (známý také jako „Go and see“). Do diagramu je zachycován tok materiálu (zleva doprava bez ohledu na uspořádání layoutu) a informací (zprava doleva). Dále se zakresluje řízení výroby, procesy a jejich parametry a časy. Rozlišují se časy zvyšující hodnotu výrobku a časy ostatní. Po dokončení diagramu se spočítá procentuální vyjádření časů uskladnění, manipulace a skutečné doby výroby. Zjistí se místa hromadění zásob a rozpracovaných výrobků.

Činnosti z pohledu tvorby hodnoty lze dělit na následující:

- Přidávající hodnotu (VA - Value Added) – činnosti nutné pro dodání produktu podle přání zákazníka, mění nebo přidávají hodnotu produktu, zákazníkovi záleží na jejich provedení, tyto činnosti mají být provedeny správně napoprvé (např. obrábění),
- nepřidávající hodnotu (NVA – Non Value Added) – nevytvářejí ani neumožňují tvorbu hodnoty v procesu (např. manipulace, kontrola kvality),
- umožňující tvorbu hodnoty – podporují proces, z pohledu zákazníka nejsou důležité, ale umožňují provádět VA lépe, rychleji a efektivněji (např. informační toky, řídicí činnosti). [49]

Obecný postup redukce průběžné doby lze shrnout do následujících kroků:

Krok 1 : Identifikace výrobků nebo služeb (produktů), které jsou nabízeny, například:

- Koncový produkt;
- administrativní služba;
- opravárenská činnost;
- montáž;
- výroba;
- terapie;
- konzultační činnost apod.

Krok 2 : Identifikovat začátek a konec procesu

- Identifikace zahájení procesů
- Identifikace předpokládaného dokončení procesu

Krok 3 : Identifikovat jednotlivé kroky procesu

- Identifikovat jednotlivé kroky procesu v pořadí, jak se vyskytují v reálném provozu
- Očíslovat kroky

Krok 4 : Provést měření a sběr dat

- Určit čas na vykonání každého kroku procesu
 - Vysledovat tok jedné jednotky procesem
 - Vyhodnotit záznamy, pokud je to nutné
 - Minimalizovat vliv subjektivního hodnocení
 - Provést měření čekací doby, rozpracovanost, propustnost systému
 - Vyhodnotit parametr „průměrná rozpracovanost/průměrná propustnost“
 - Vyhodnotit parametr „průměrné skladové zásoby/průměrná propustnost“
- Identifikovat přidružené procesy
 - Transportní čas, vzdálenosti zdrojů apod.

- Velikost dávek

Krok 5 : Identifikovat procesní kroky přidávající hodnotu (VA) nebo nepřidávající hodnotu (NVA):

- procesní kroky přidávající hodnotu (VA)
 - jakákoliv činnost, za kterou je zákazník ochoten zaplatit
- procesní kroky nepřidávající hodnotu (NVA)
 - jakákoliv operace, činnost nebo použití zdrojů, která neodpovídá očekávání zákazníka
 - jsou to i činnosti, které zákazník nevnímá jako přidanou hodnotu, ale jsou nutné vzhledem k technologii procesu, například: opravné práce, kontrola výrobků, čekání, přesuny apod.

Krok 6 : Instrukce na zpracování grafické prezentace procesu:

- Pro každou činnost připravit obdélník v diagramu
- Nastavit výšku obdélníku proporcionálně na dobu trvání kroku
- Obdélníky „VA“ dát doleva
- Obdélníky „NVA“ dát doprava
- Uspořádat obdélníky ve správném pořadí
- Označit obdélníky:
 - pořadové číslo
 - prováděná činnost
 - doba trvání kroku
 - vzdálenost
 - množství atd.

V Tabulce 3 je znázorněn příklad rozdělení procesu na činnosti přinášející (VA) a nepřinášející (NVA) hodnotu. Činnosti VA jsou umístěny v levé části tabulky a činnosti NVA v pravé. U jednotlivých kroků (činností) procesu je stanoven čas na jejich zpracování. Dále je vypočítána celková doba trvání jednotlivých typů činností.

Doba trvání [Min]	VA kroky	NVA kroky	Doba trvání [Min]
		1. Materiály na sklad	60
2	1. Proces		
		3. Čekání ve frontě	240
		4. Přesun	30
		5. Čekání ve frontě	360
		6. Kontrola 10	
60	7. Proces		

		8. Čekání ve frontě	180
		9. Přesun	15
		10. Čekání ve frontě	360
5	11. Proces		
10	12. Proces		
		13. Produkt na sklad	500
VA=77 min.			NVA=1755 min.

Tabulka 3: Identifikace procesních kroků přidávajících hodnotu a nepřidávajících hodnotu

Krok 7 : Shrnutí informace

- Celkový počet VA a NVA kroků
- Celkový čas pro VA a NVA kroky
- Určit %VA (procenta kroků přidávajících hodnotu)

$$\%VA = ((\text{čas VA}) / (\text{čas VA} + \text{čas NVA})) * 100$$

Pro příklad uvedený v tabulce je výpočet procenta kroků přidávajících hodnotu následující:

$$\%VA = ((77 / (77 + 1755)) * 100) = 4.2 \%$$

Krok 8 : Analyzovat a odstranit NVA činnosti

- Redukovat
- Odstranit
- Sdružit

Krok 9 : Analyzovat a minimalizovat VA činnosti

- Unifikace a zjednodušování produktů
- Prevence řešení problémů
- Optimalizovaný layout
- Multifunkční zaměstnanci
- Standardizované operace
- Redukce nastavení, přeseřizování
- Plánování údržby
- Optimalizovat vazbu na dodavatele
- Vizualní kontrola a řízení
- Redukce rozmanitosti produktů

Krok 10: Graficky znázornit zlepšení procesu za použití výsledků z kroků 8 a 9

Krok 11: Identifikovat ideální proces

- Ideální proces neobsahuje NVA činnosti a má minimalizované VA kroky co do počtu a doby trvání

Krok 12: Graficky znázornit „ideální“ proces**Krok 13:** Opakovat postup redukce průběžné doby**6.2.4 Grafická prezentace procesu za využití tabulky**

Vzhledem ke zmiňovanému postupu lze pro redukci průběžné doby definovat činnosti, které jsou graficky zobrazeny v Tabulce 4. Mezi těmito činnostmi lze identifikovat ty, které přidávají hodnotu (VA) a které ne (NVA).

Činnost	Délka trvání činnosti přidávající hodnotu (VA)*	Délka trvání činnosti NEpřidávající hodnotu (NVA)*
1. Identifikace výrobků nebo služeb (produktů), které jsou nabízeny	1 / 1	
2. Připravit seznam všech kroků na vyhotovení produktu od začátku do konce		2 / 1
3. Identifikovat aktuální čas (normovat) pro dokončení každého kroku	3 / 2	
4. Identifikovat procesní kroky přidávající hodnotu produktu (VA)	4 / 0.5	
5. Grafická prezentace procesu		5 / 0.4
6. Analýza a eliminace kroků nepřidávajících hodnotu (NVA)	6 / 0.7	
7. Analýza a redukce		7 / 4

doby trvání kroků přidávajících hodnotu (VA)			
8.Grafická prezentace procesu		8/0.25	

* Pořadové číslo činnosti/délka trvání činnosti

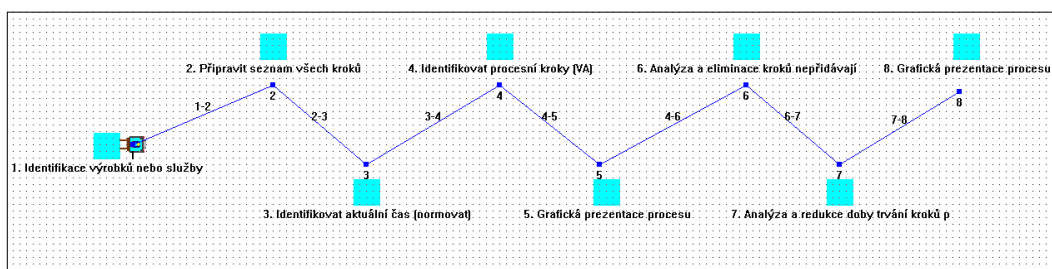
Tabulka 4: Grafická prezentace procesů – postup redukce průběžné doby

6.2.5 Grafická prezentace procesu za využití simulačního modelu

Možnou alternativou ke grafickému znázornění procesů tabulkou může být využití simulačního modelu. Simulační prostředí umožňuje namodelovat jednotlivé procesy postupu redukce průběžné doby včetně přiřazení dob jejich trvání. Tok procesů je poté vyobrazen pomocí Ganttova diagramu.

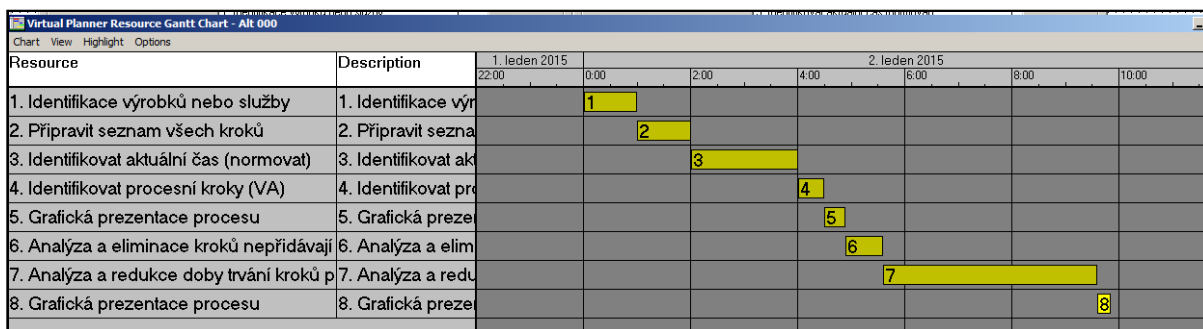
Postup grafického znázornění pomocí simulačního modelu je následující:

1. Příprava layoutu procesu obsahujícího zdroje (viz Obrázek 12)
 - Rozmístění zdrojů reprezentujících kroky procesu
 - Namodelování vazeb mezi kroky



Obrázek 12: Layout procesu redukce průběžné doby

2. Definovat zdroje pro každý procesní krok (Příloha č. 16)
3. Definovat procesní časy obsahující požadovaný zdroj a čas trvání kroku (Příloha č. 17)
4. Definovat procesní plán obsahující všechny procesní kroky (Příloha č. 18)
5. Provést simulaci
6. Ganttův diagram zdrojů je grafická prezentace procesu (viz Obrázek 13)



Obrázek 13: Grafická prezentace procesu za využití simulace

6.3 METODIKA POUŽITÍ SIMULAČNÍHO PŘÍSTUPU PRO REDUKCI PRŮBĚŽNÉ DOBY

Simulační přístup pro redukci průběžné doby ve výrobním systému lze aplikovat na rozsáhlé spektrum činností souvisejících s různými aktivitami vedoucími k snížení průběžné doby. Z tohoto důvodu je nezbytné provést analýzu výrobního systému a určit nejvhodnější aplikační oblasti simulačních metod.

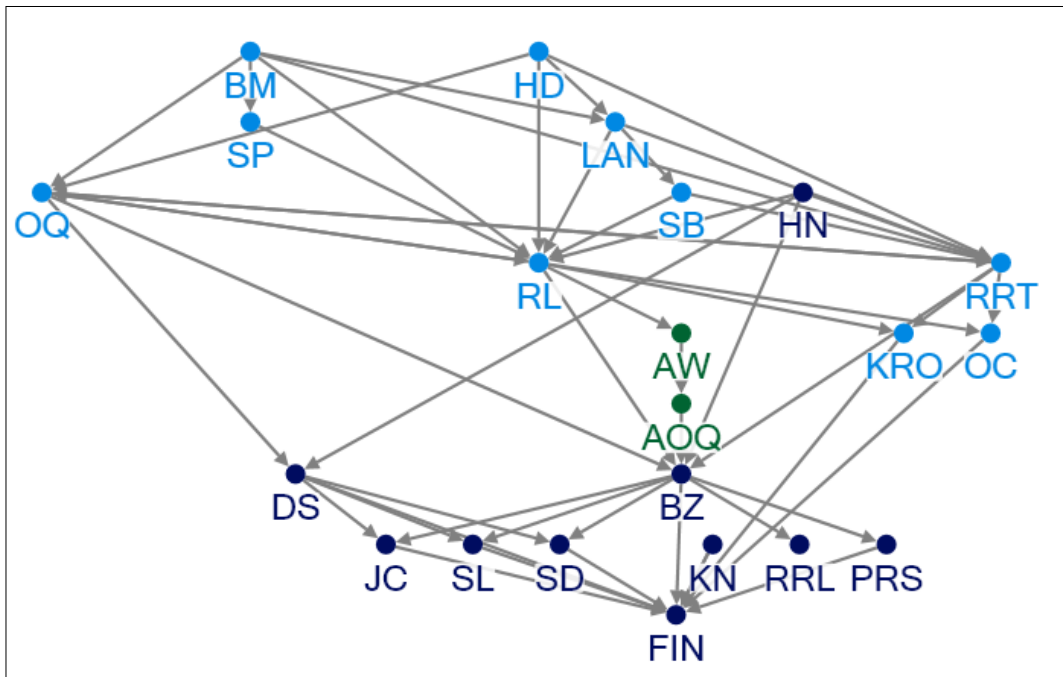
6.3.1 Analýza stavu výrobního systému za účelem aplikace simulačních metod

Analýza probíhá v následujících krocích:

1. Vyspecifikovat výrobky, pro které bude aplikován simulační přístup
Jedná se o výrobky, jejichž výroba přináší největší zisky pro podnik. Z celkového množství výrobků, které podnik nabízí ve svém portfoliu, se vyberou ty, které přináší největší prospěch výrobcům. Obvykle se provádí ABC analýza a vyspecifikují se skupiny výrobků přinášející největší zisk. Zkušenosti z výrobních podniků ukazují, že asi 20% výrobků přináší i více než 80% zisku. Nicméně podnik musí udržet ve svém portfoliu i ostatní výrobky, aby byl dostatečně připraven při změně poptávky začít vyrábět žádanější výrobky. Například: speciální šrouby dle specifikace, průmyslové pece, chirurgické nástroje apod.

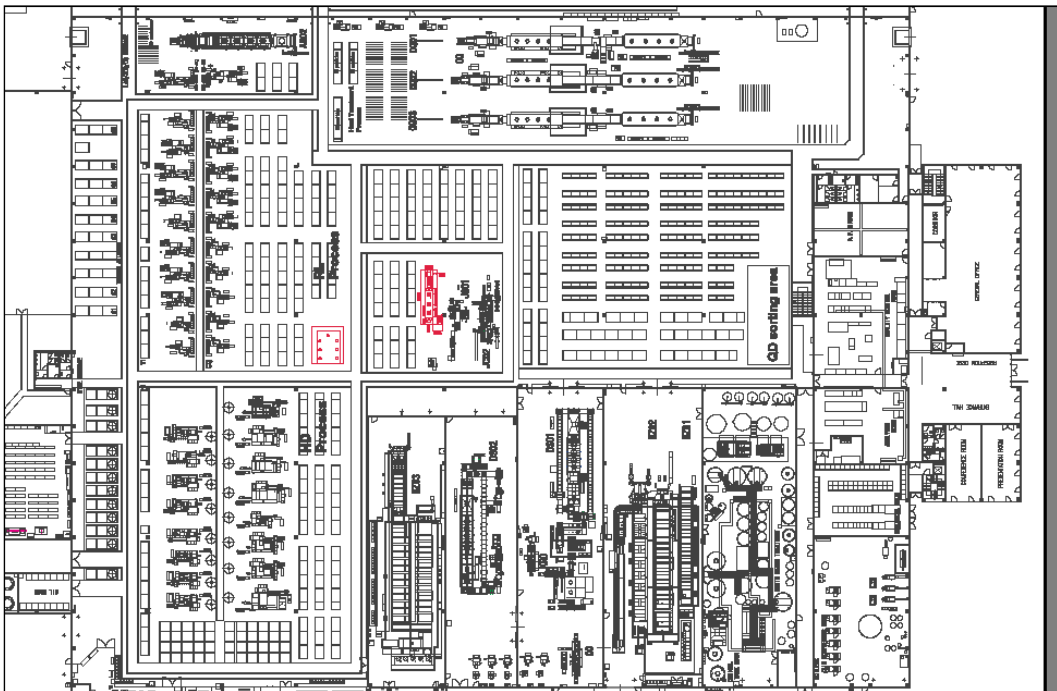
2. Procesní tok výrobků

V rámci analýzy se vyhodnotí procesní toky vybraných výrobků a vypracuje se layout výrobního systému. Pro analýzu interakce procesních kroků (a pro přehlednost) se mohou tyto uvést i v abstraktní podobě jak ukazuje Obrázek 14.



Obrázek 14: Abstraktní zobrazení procesního toku výrobků

Pro další analýzu lze procesní toky výrobků zanést do geometrického layoutu výroby a využít Sankey diagramy pro zobrazení hustot hmotných toku (viz Obrázek 15).



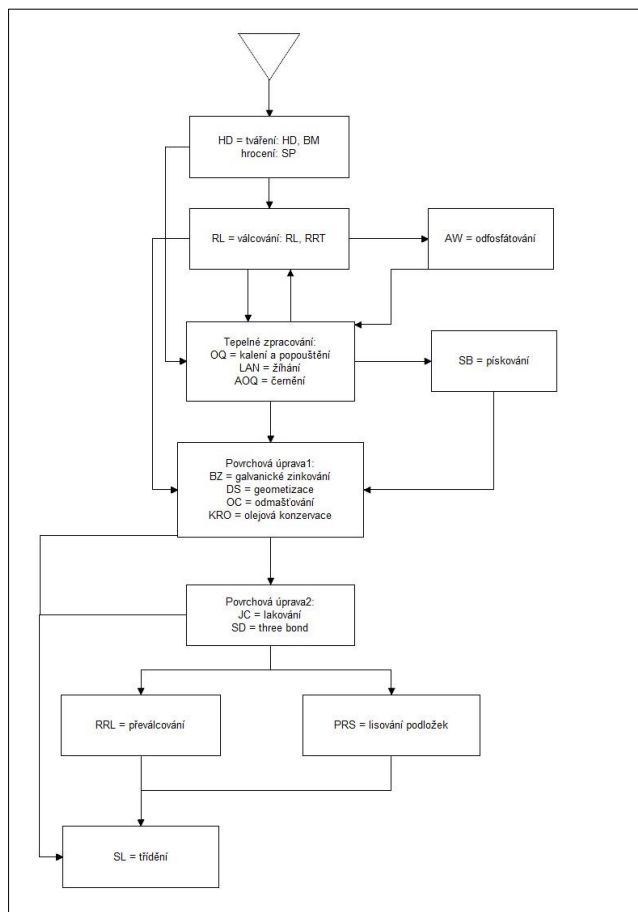
Obrázek 15: Geometrický layout výroby

3. Informace o výrobcích a procesech lze shrnout do následující tabulky:

Název výrobku			
Kód výrobku			
Typ výrobku			
Počet položek			
Měsíční výroba			
Proces 1			
Proces 2			
Proces 3			
Proces 4			
.....			

Tabulka 5: Tabulka pro záznam informací o výrobcích a procesech

Pro větší přehlednost je vhodné zpracovat i blokový diagram procesů ve výrobě jak ukazuje Obrázek 16.



Obrázek 16: Blokový diagram procesů ve výrobě

4. Stroje, zařízení, operátoři, kooperace pro každý proces

Stroje, zařízení, operátoři a kooperace jsou klíčové komponenty simulačních modelů určené pro redukci průběžných dob. Stroje, zařízení a operátory lze

zahrnout do skupiny zdrojů poskytujících svou kapacitu pro zajištění výrobních procesů. Pro každý zdroj je nutné vyspecifikovat typ zdroje, počet zdrojů ve skupině, kalendář zdroje zahrnující směnnost, výjimky (odchyly pracovních směn). Zdroje se přiřadí k příslušným výrobním procesům, tak jak je to uvedeno v technologických postupech. Tabulka 6 uvádí formát tabulky, která se sestavuje pro zdroje a procesy. Tato tabulka ale nenahrazuje detailní technologické postupy.

Název procesu	Typ stroje (počet strojů), počet operátorů, název kooperujícího podniku	Směna
HD = tváření: HD,(BM)	H02 H04 H05 Ranní Ranní Ranní	
SP = hrocení	SP1	Ranní
RL = válcování: RL, RRT	RRT: R30, R51...	Ranní Odpolední
Tepelné zpracování: OQ = kalení a popouštění	Q01 Q02 (Q03)	24h 24h 24h
RRL = převálcování		Ranní
PRS = lisování podložek		Ranní
.....		

Tabulka 6: Formát tabulky pro zdroje a procesy

5. Směny

Směny určují dostupnost zdrojů a redukují jejich maximální kapacitu (viz Tabulka 7).

Směny	Čas	Dny v týdnu
Ranní	6 :00-14:00	Po-Pá
Noční	22:00-6 :00	Po-Pá
Odpolední	14:00-22:00	Po-Pá

Tabulka 7: Formát tabulky pro směny

6. Procesy považované za úzké místo

Za předpokladu, že se analýza výrobního systému provádí před nasazením simulačních nástrojů, jsou procesy považované za úzká místa definovány manažery podniku na základě jejich dosavadních zkušeností. Tato informace se musí brát s rezervou, protože má subjektivní charakter a při změně například mixu

výrobních příkazů se mohou úzká místa přemísťovat (tzv. Plovoucí úzká místa – Floating Bottlenecks). Simulace výroby pak bude operativně analyzovat vznik úzkých míst ve výrobě. Zdroje (v tomto případě jsou to i odpovídající procesy), které byli identifikovány jako úzká místa: OQ, BZ, DS.

7. Status zakázky

Během této analýzy se určuje, jaký typ výroby má sledovaný výrobní systém. Podle typu výroby se identifikuje oblast použití simulačního modelu. Rozlišují se 3 základní typy výrob:

- Výroba na sklad (Make-to-stock);
- výroba na zakázku (Make-to-order);
- kombinace výroby na sklad a výroby na zakázku (Mixture of Make-to-stock and Make-to-order).

Při další analýze je vhodné kvantifikovat zakázky vytěžující výrobní systém. Tyto lze rozdělit do 3 skupin dle Tabulky 8.

Zákaznické objednávky	Počet objednávek/den (nebo na měsíc)	Zákaznické objednávky na expedici.
Výrobní příkazy	Počet příkazů/den(nebo na měsíc)	Výrobní příkazy finálních výrobků nebo výrobních dávek generovaných v podniku
Nákupní zakázky	Počet příkazů/měsíc	Nákupní zakázky materiálů od dodavatelů.

Tabulka 8: Rozdělení zakázek

Pro každou skupinu se uvádí počet příkazů za období (den, měsíc).

8. Metody vytváření výrobních příkazů koncových výrobků:

- Metoda vytváření výrobních příkazů na základě zákaznických požadavků na koncové výrobky.
- Vytváření z předpovědí prodejů – za předpokladu, že průběžná doba zakázky je kratší než výrobní průběžná doba, musí výrobce dopředeně vyrábět podle předpovědí poptávky, nebo mít určitý objem rozpracované výroby, aby mohl dodržet termíny dodávek podle požadavků zákazníků. Výrobní příkazy se generují i podle této předpovědi.
- Vytváření z MPS (Master Production Schedule) – pokud má výrobce vypracovaný dlouhodobý plán (rozvrh) výroby, pak jsou výrobní příkazy generovány na základě tohoto plánu.
- Vytváření na základě neoficiální informace od zákazníků
- Vytváření na základě prodejních objednávek.
- Další metody vytváření výrobních příkazů – výše uvedený výčet metod nezahrnuje všechny možnosti generace. Vytváření výrobních příkazů se

může realizovat i jako mix těchto metod. Příklad: Prodejní objednávka generuje požadavek na výběr ze skladu koncových výrobků. Výběr ze skladu koncových výrobků automaticky generuje výrobní příkaz koncového výrobku za použití kanbanů.

9. Metoda vytváření výrobních příkazů pro dílce:

- Vytváření výrobních příkazů dílců za využití výstupů ze systému plánování typu MRP.
- Vytváření manuálně v MS Excel nebo pomocí jiného nástroje
- Další způsoby: výrobní příkazy jsou generovány automaticky (kanban) na základě odebrání dílce z meziskladu.

10. Metoda vytváření nákupních objednávek:

- Nákupní objednávky se generují za využití výstupů ze systému plánování typu MRP.
- Nákupní objednávky se generují direktně na základě prodejních objednávek (například u specifických nebo drahých materiálů)
- Vytváření na základě předpokládaných výrobních příkazů. Pro položky s dlouhodobým termínem dodání se vystavují předběžné nákupní objednávky.
- Nákupní objednávky připravuje přímo zákazník.
- Kombinace výše uvedených metod.

11. Definovat výskyt spěchajících zakázek, jež mají velkou prioritu. Tyto zakázky po zaplánování mohou předběhnout zakázky s nižší prioritou a zavinit nedodržení termínů těchto zakázek.

12. Definovat výskyt zakázky na zkušební (nové) výrobky. Jejich rozplánování může ovlivnit kapacitní vytíženost zdrojů.

13. Zjistit průměrnou průběžnou dobu doručení (průběžnou dobu zakázky) pokud možno pro každý výrobek.

14. Zjistit průměrnou průběžnou dobu výroby pokud možno pro každý výrobek.

15. Zjistit statistiky včasného doručení zakázky a to podle počtu zakázek, podle množství a podle ceny. Hodnotit podle toho, jak byl termín splněn. Pokud možno vložit data pro každý výrobek.

16. Stav skladů

- Sklad hotových výrobků - zjistit periodu obratu a náklady
- Sklad dílců - zjistit periodu obratu a náklady

- Nákupní sklad - zjistit periodu obratu a náklady

17. Metoda rozvrhování výroby

- Cyklus rozvrhování – například 3x denně provádí vedoucí směny
- Perioda rozvrhování (platnost rozvrhu) – například 1 -2 dny (týdny)
- Metoda rozvrhování. Například: Rozvrhování provádí vedoucí provozu a vedoucí směn na základě zkušenosti (Dopředné/Zpětné/Mix dopředného a zpětného rozvrhování)

18. Metoda řízení výroby – například podle kanbanů

19. Existující výrobní manažerský systém – jestli poskytuje následující služby:

- Management výrobních dat – například vlastní systém nebo standardní ERP.
- Management zakázek
- Hrubé rozvrhování
- Detailní rozvrhování
- Plán práce pro zdroje
- Sběr dat z výroby
- Dílenské řízení výroby
- Řízení skladů
- Řízení nákupu

20. Metoda řízení výrobních a dalších dat

- Umístění výrobních dat – vlastní server, PC, papír atd.
- Umístění dat o zakázkách
- Metoda distribuce výrobních instrukcí – například ručně psané, počítačové výstupy atd.
- Použití čárových kódů ve výrobních instrukcích
- Metoda sběru výsledků – například ručně psané reporty, manuální zadávání dat do počítače, MES (Manufacturing Execution Systems) systém

21. Očekávané výsledky a jejich důležitost – tyto výsledky jsou specifické pro daný druh výroby, například:

- Kratší průběžné doby
- Redukce skladů
- Redukce rozpracované výroby
- Zvýšení poměru včasně splněných zakázek

22. Popis problémů a požadavků, pokud se simulace bude používat při rozvrhování výroby:

- Správně odpovědět zákazníkům, zdali objednávka bude hotova v termínu

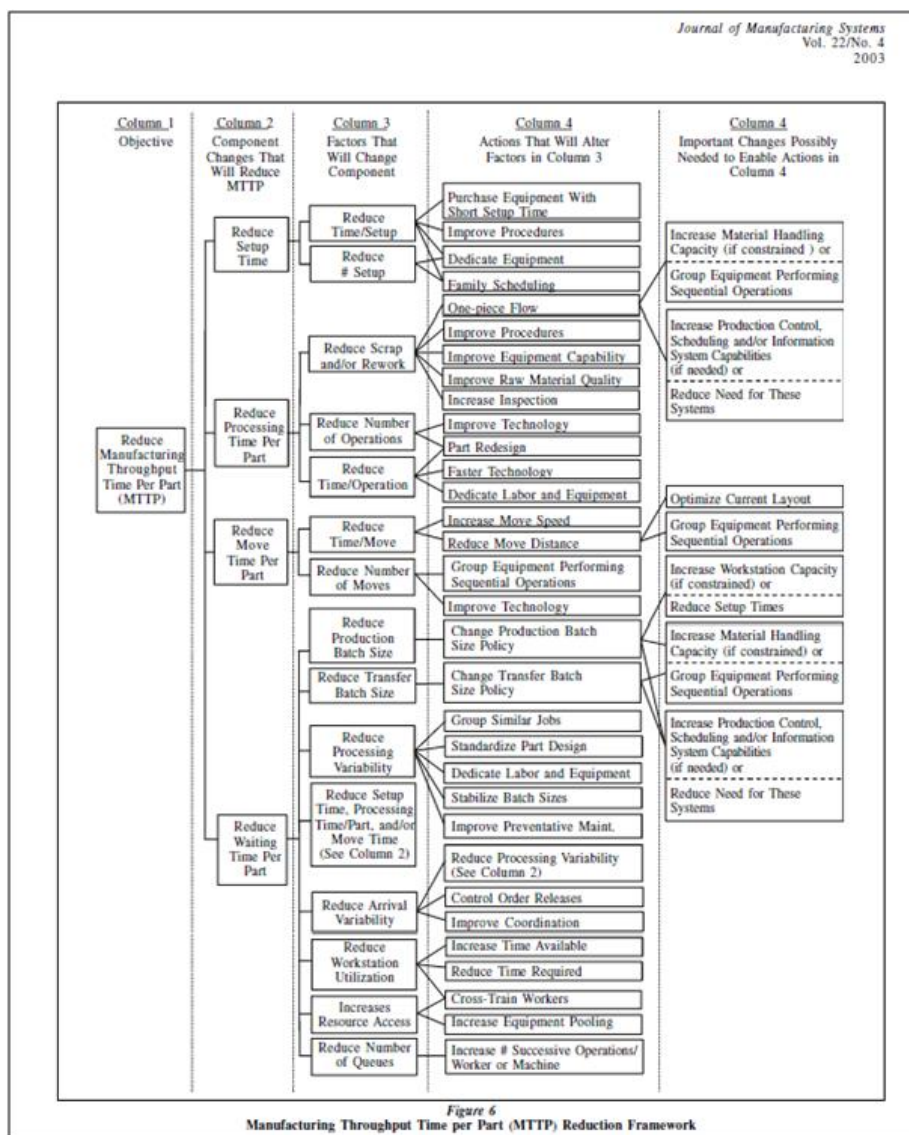
- Zredukovat na polovinu průběžnou dobu výroby
- Zvýšit poměr včasně splněných zakázek na 100%
- Snížit rozpracovanost výroby atd.

6.3.2 Simulační analýza faktorů ovlivňujících výrobní průběžné doby

Průběžná doba výroby může být definována jako časové zdržení zakázky ve výrobě a to od uvolnění zakázky do výroby až do jejího přijetí do expedičního skladu nebo i do přepravy k zákazníkům. Klíčový požadavek na redukci průběžné doby vychází od zákazníka vyžadujícího co nejrychlejší zhotovení požadovaného množství, které může být i velmi malé, například 1 kus nebo několik málo kusů. Proto se při určování průběžné doby ve výrobním systému sleduje jako jeden z důležitých parametrů kusová průběžná doba výroby (Manufacturing throughput time per part (MTTP)). Tato doba je ovlivňovaná následujícími činiteli:

- Procesní čas;
- velikost výrobních a transportních dávek;
- seřízení;
- variabilita;
- využití zdrojů.

Rozdělení činitelů ovlivňujících průběžnou dobu výrobku (MTTP) dle Johnsona [56] je zachyceno na Obrázku 17, který představuje diagram snížení MTTP. Vývojový diagram obsahuje pět sloupců. V sloupci 1 se nachází cíl, tedy redukce průběžné doby výroby. Sloupec 2 představuje složky MTTP. Seřizovací čas (Setup time) je součet doby strávené nastavením všech pracovišť potřebných ke zpracování polotovaru výrobním systémem. Procesní čas (Processing time) je součtem doby strávené zpracováním polotovaru na každé pracovní stanici potřebné pro výrobu. Transportní čas (Move time) je součet časů přesunutí polotovaru mezi každým pracovištěm, které je využito ke zpracování dílce. Doba čekání (Waiting time) je součet časů strávených ve frontách před pracovními stanicemi. [56] Doba čekání je obvykle nejdelší ze čtyř komponent představujících složky redukce průběžné doby. V některých výrobních systémech tvoří až 90% průběžné doby. [57] Ve sloupci 3 jsou vyjmenovány faktory, které redukuje každou složku. Sloupec 4 uvádí činnosti, které mění jednotlivé činitele uvedené ve sloupci 3 a sloupec 5 prezentuje důležité změny, které by mohly být potřebné k provedení akcí uvedených ve sloupci 4. Proveditelnost některých činností a změn uvedených ve sloupcích 4 a 5 je v přímém vztahu k typu použitého uspořádání výroby (tj. funkční uspořádání, buněčné uspořádání, montážní linka atd.).



Obrázek 17: Rozdělení činitelů ovlivňujících MTTP [56]

Na základě těchto definic musí být redukována jedna nebo více z těchto čtyř složek, aby se snížilo MTTP. Procházením vývojového diagramu zleva doprava lze pak identifikovat akce, které sníží každou složku. Tento vývojový diagram poskytuje strukturovaný způsob, jak prozkoumat druhy akcí, které mohou být využity ke snížení MTTP, a vztahy mezi těmito akcemi. [56]

Z hlediska požadavků zákazníka je důležité analyzovat a sledovat všechny průběžné doby:

- Kusová průběžná doba výroby - **MTTP** (Manufacturing throughput time per part);
- zakázková průběžná doba výroby - **MTTO** (Manufacturing throughput time per order);
- dávková průběžná doba výroby - **MTTL** (Manufacturing throughput time per load).

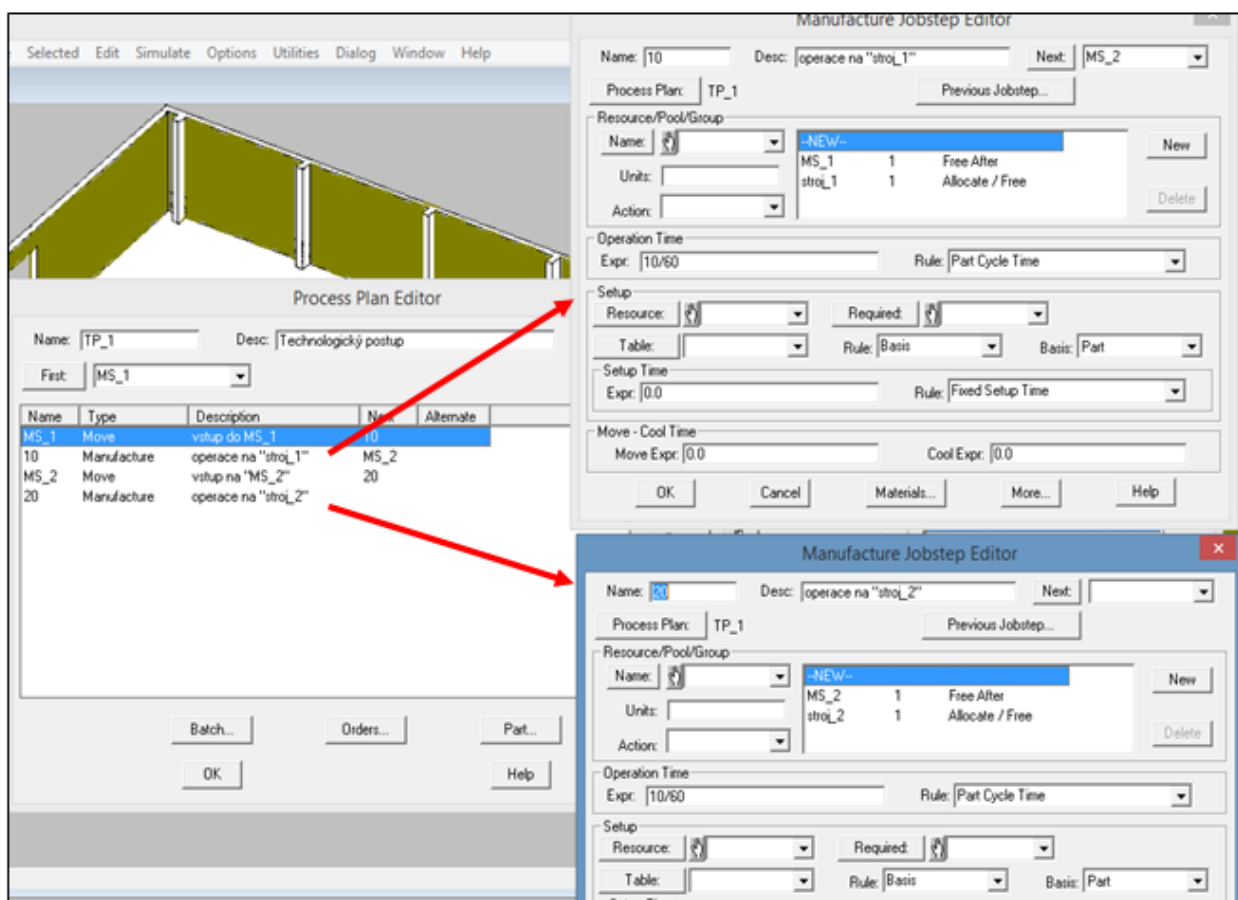
Za určitých podmínek, které se váží k velikosti dávky, jsou jednotlivé typy průběžných dob ve vztahu. Pokud se velikost výrobní dávky rovná velikosti výrobní zakázky, pak platí:

$$\text{MTTO} = \text{MTTL}$$

Pokud se velikost výrobní dávky rovná velikosti výrobní zakázky a rovná se jedné, pak platí:

$$\text{MTTO} = \text{MTTL} = \text{MTTP}$$

Simulační analýza je provedena pro přehlednost na jednoduchém simulačním modelu výrobního systému sestávajícího z 2 pracovišť. Pod pojmem pracoviště se rozumí 2 stroje nebo 2 manuální pracovní místa (viz Příloha 9). Jsou vyráběny 2 výrobky, které jsou podle technologického postupu opracovávány nejprve na „stroj_1“ a potom na „stroj_2“. Procesní čas u obou strojů je stejný, a to 10 minut (časy nejsou pravděpodobnostní, ale deterministické). Transportní čas mezi stroji není uvažován, to znamená, že transportní čas je nulový a výrobní dávka se přesouvá od „stroj_1“ ke „stroj_2“ bez zdržení. Jelikož jsou procesní časy stejné, v meziskladu u „stroj_2“ se nevytváří fronty a dávky plynule prochází mezi stroji. Pro simulaci tohoto jednoduchého případu jsou definovány výrobní příkazy pro výrobek „vyr_1“ i „vyr_1B“. Velikost výrobní dávky je 1 kus (Viz Obrázek 18).



Obrázek 18: Definice výrobních příkazů a procesního toku

Vliv procesních časů na průběžné doby (MTTP, MTTO)

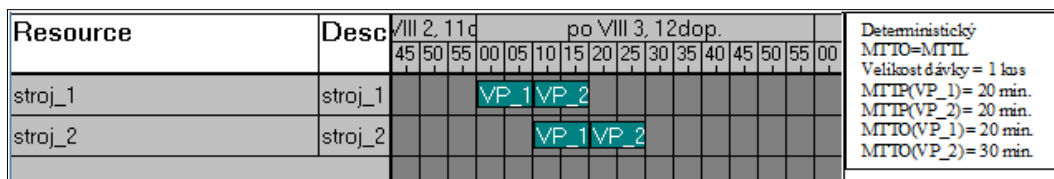
Sloupec 3 na Obrázku 17 ukazuje, že snížení procesního času může být dosaženo snížením počtu požadovaných operací, redukcí doby zpracování operace, anebo redukcí zmetkovitosti a doby nutné na přepracování zmetků. Počet operací může být snížen prostřednictvím nákupu nových technologií, které umožní zpracovat to, co bylo dříve provedeno v rámci několika operací, v jedné operaci nebo uzpůsobit polotovary tak, aby jeho opravení vyžadovalo méně operací.

Doba zpracování může být tedy snížena přepracováním polotovaru tak, aby vyžadoval menší počet operací, zařadit do procesu rychlejší technologie nebo sdružit operace s podobnými požadavky na zpracování do skupin. Sdružení operací do skupin umožňuje pracovníkům více se seznámit s postupem zpracování menšího počtu typů dílů. Tím se potenciálně snižuje množství času stráveného čtením dokumentací, nastavení rychlosti stroje, provádění kontroly kvality, zatímco jsou polotovary na stroji atd.

Nejlepším způsobem, jak snížit počet zmetků a čas na jejich přepracování, je zlepšení kvality surovin, aby se zabránilo vstupu vadného materiálu do systému, a vylepšit zařízení, procesy a postupy. V tomto ohledu může být zvláště přínosné zavedení metody Poka-Joke (viz Kapitola 4.5.7).

Snížením velikosti dávek (výrobních i přepravních) se může také snížit zmetkovitost a počet oprav, protože vadné díly mohou být rychle detekovány již na další operaci. Výroba po malých dávkách (nebo po 1 kusu) je často nepraktická při funkčním uspořádání výroby kvůli zvýšené manipulaci s materiálem, změnám v plánování a řízení výroby anebo změnám v požadavcích na informační systémy. Na rozdíl od toho je vhodné aplikovat výrobu v malých dávkách v buněčném uspořádání výroby nebo v uspořádání orientovaném na výrobek, kde je vliv na zmíněné změny a požadavky malý. Jako poslední možnost lze využít ke snížení zmetkovitosti zvýšenou kontrolu dílů a zabránit tomu, aby byly vadné díly převedeny na další operace. [56]

Ve výše zmiňovaném simulačním modelu je po provedení simulace vygenerován Ganttův diagram, který ukazuje, že výrobní dávky jsou zpracovány postupně. MTTP pro každý výrobek je součet procesních časů obou strojů tj. 20 minut. Nicméně průběžná doba výrobních příkazů (MTTO=MTTL) je rozdílná za předpokladu, že jsou uvolněny do výroby ve stejném časovém okamžiku: u výrobního příkazu VP_1 je to 20 min, ale u výrobního příkazu VP_2 je to 30 min, jak je znázorněno na Obrázku 19.



Obrázek 19: Ganttův diagram pro zdroje zobrazující posloupnost a délku zpracování výrobních příkazů o velikosti dávky 1 kus

Pokud výrobní příkazy vstupují do výroby tak, aby se nevytvářela vstupní fronta u prvního stroje a velikost dávky, je 1 kus, pak:

$$MTTP = MTTO = MTTL$$

Jednalo by se o ideální výrobní systém, u kterého by byla průběžná doba výroby součtem procesních časů. Zvyšování procesních časů by **přímo úměrně** navyšovalo i MTTP, MTTO, MTTL.

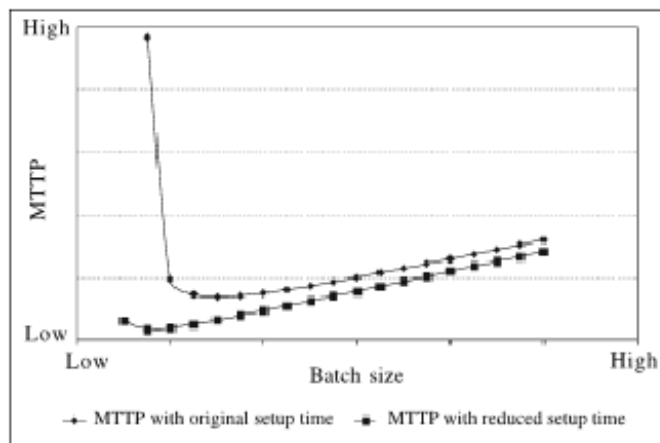
Redukce variability procesního času

Variabilita v procesním čase pochází z několika zdrojů: variabilita v seřizovacím čase stroje, variabilita v době zpracování 1 kusu, variabilita ve velikosti zpracovávané dávky a variabilita vzniklá v důsledku neplánovaných prostojů a oprav stroje. Snížení kteréhokoliv z těchto zdrojů variability sníží i variabilitu procesního času a v důsledku toho tedy i čekací dobu. Seskupení podobných operací založené na příslušnosti dílce ke skupině a vyhrazení zařízení a pracovní síly této skupině, anebo normalizace dílů pomůže snížit variabilitu spojenou s časy seřízení a procesními časy. Stabilizace podobné velikosti dávky pro všechny operace ve skupině pomůže snížit variabilitu spojenou s rozdíly ve velikosti dávky. Zlepšení preventivní údržby pomůže snížit variabilitu spojenou s neplánovanými prostoji a opravy pracoviště. [56]

Vliv velikosti výrobních dávek na průběžné doby výroby

Zmenšení velikosti výrobní dávky je často nejjednodušší a nejvíce efektivní způsob (z hlediska nákladů), jak zkrátit čekací dobu a MTTP ve většině výrobních systémů. Nezkracuje se jen doba čekání na dávku, ale snižuje se také čas strávený ve frontě.

Pro snížení velikosti dávky je potřeba implementovat plánování výroby v menších dávkách. Nicméně pokud zůstane poptávka konstantní, menší velikost dávky zvýší počet potřebných seřízení. S rostoucím počtem seřízení (více dostupné kapacity je využito pro seřizování) se snižuje využití strojů, což způsobuje nárůst front. To znamená, že nárůst délek front eliminuje výhody, které by byly získány snížením výrobní dávky a MTTP se rychle zvyšuje (viz Obrázek 20). Snížení seřizovacího času by umožnilo využít menší velikost dávky a snížit MTTP.



Obrázek 20: Graf vytvořený za použití vzorců teorie front vyjadřuje vztah délek front na MTTP. [56]

Když jsou dávky přepravovány mezi pracovními stanicemi vysokozdvihným vozíkem, vozíkem s manuálním pohonem nebo jiným podobným dopravním prostředkem, redukce dávky také zvyšuje počet transportních cest. Zvýšený počet cest zvyšuje využití transportního zařízení, což způsobuje nárůst front. V případě vysokého využití pak prodloužení front eliminuje výhody, které mají být dosaženy snížením velikosti dávky, a MTTP rychle stoupá.

Zmenšení velikosti dávky rovněž zvyšuje počet dávek různých výrobků na dílně v jednom okamžiku, což může zvýšit zátěž na plánování a řízení výroby anebo informační systémy.

Pokud má být MTTP redukována snížením velikosti dávky, je potřeba zavést jednu nebo více z následujících změn (viz Sloupec 5 v Obrázku 17):

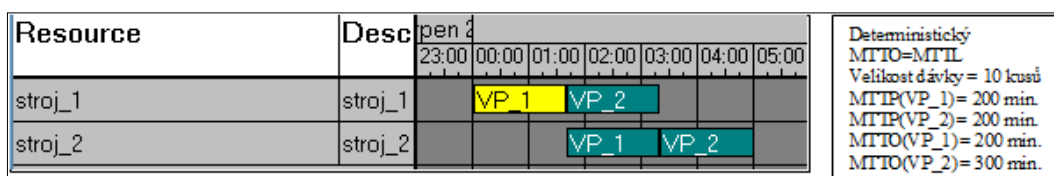
1. Musí být zvýšena kapacita pracoviště, nebo redukovány seřizovací časy.
2. Musí být zvýšena kapacita transportních zařízení nebo stroje nezbytné pro zpracování dávky přizpůsobit tak, aby manipulační zařízení nebylo nutné využívat tak často.
3. Musí být zlepšeny procesy plánování a řízení výroby a uzpůsobeny informační systémy tak, aby zvládly zvýšené požadavky, nebo tyto požadavky redukovat.

Je-li výroba organizována dle funkčního uspořádání, prostorové oddělení zdrojů (strojů a manuálních pracovišť) potřebných k výrobě dávky bude pravděpodobně vyžadovat zvýšení kapacity pracovišť a dopravních zařízení. To sníží schopnosti plánování a řízení výroby a informačních systémů. Jestliže je ovšem výroba organizována do buněk, zdroje jsou podřízeny skupinám polotovarů a seskupeny v těsné blízkosti. Toto seskupení snižuje seřizovací časy a často umožňuje polotovarům transport mezi pracovními stanicemi ručně nebo malými dopravníky, čímž se eliminuje potřeba vysokozdvihných vozíků a dalších manipulačních zařízení.

Využití buněk snižuje množství centralizovaného plánování, protože musí být naplánována pouze buňka a ne každá pracovní stanice. Sledování dílů je jednodušší proto, že díly jsou buď v jedné z buněk, nebo ještě nebylo zahájeno zpracovávání výrobní zakázky. V konečném důsledku může snížení požadavků na plánování a sledování polotovarů snížit požadovanou výpočetní kapacitu informačního systému

a množství času potřebného k zadávání údajů, udržování systému atd. To znamená, že převodem funkčního uspořádání na buněčné by pravděpodobně mohlo dojít ke snížení velikosti dávky bez odpovídajícího zvýšení kapacity strojů a manipulace s materiálem, požadavků na plánování a řízení výroby a kapacity informačního systému. Ve skutečnosti tedy může mít použití buněk za následek menší požadavky na tyto systémy, a to i když jsou velikosti dávek sníženy. [56]

Výrobní dávka obsahuje daný počet kusů stejného výrobku, který je zpracováván na stroji nebo pracovišti, dokud jej nevystřídá další typ výrobků v nové výrobní dávce po přeseřizení stroje. Transportní dávka se sestává z výrobků sdružených do jedné dávky pro transport na další pracoviště. Výrobní dávky stejných nebo různých výrobků ovlivňují průběžné doby výroby tím, že vyvolávají nutnost přeseřizovat stroje a velikost výrobních dávek může klást zvýšené nároky na včasné zásobování materiálem. Aby byl simulační model realističtější, je velikost výrobní dávky zvýšena na 10 kusů (viz Obrázek 21).



Obrázek 21: Ganttův diagram pro zdroje zobrazující posloupanost a délku zpracování výrobních příkazů o velikosti dávky 10 kusů

Za předpokladu, že je zakázka (výrobní dávka) zpracována na pracovištích jako celek bez přerušení, pak každý výrobek stráví na strojích 20 minut, ale MTTP bude 200 minut (oproti 20 minutám v předcházejícím případě). Zbývajících 180 minut výrobek čeká na zpracování nebo čeká na to, až se zpracují ostatní výrobky ze zakázky. Velikost dávky lineárním způsobem ovlivňuje MTTP. Za předpokladu, že jsou zakázky uvolněny do výroby ve stejném časovém okamžiku (podobně jako v předcházejícím případě), pak $MTTO(VP_1) = 200$ min, kdežto $MTTO(VP_2) = 300$ min, jak je shrnuto v Tabulce 9, protože druhá zakázka čeká ve vstupní frontě před „stroj_1“ 100 min. než se zpracuje první zakázka.

<u>Zakázka</u>	<u>Dávka</u>	<u>Výrobek</u> <u>Dávková</u> <u>průběžná</u> <u>doba</u> <u>výroby –</u> <u>MTTL</u> <u>v hod.</u>	<u>Simulační</u> <u>alternativa</u>	
VP_1	1	vyr_1	3.333	Alternative: 010 -

				výr. dávka 10 kusů
VP_2	1	vyr_2	5.000	Alternative: 010 - výr. dávka 10 kusů

Tabulka 9: Dávková průběžná doba výroby pro výrobní příkazy VP_1 a VP_2

Jiný případ nastává, když je velikost dávky 1 kus, tj. po opracování jednoho výrobku na „stroj_1“ je ten přesunut okamžitě na „stroj_2“ (viz Příloha 10).

Za předpokladu, že zakázky jsou uvolněny do výroby ve stejném časovém okamžiku, pak každá dávka ze zakázky VP_1 čeká ve frontě, dokud se nezpracuje předchozí dávka. Dávkový čas je potom funkcí pořadového čísla dávky „n“ a u první zakázky je vyjádřen vztahem:

$$MTTL(VP_1) = (n - 1) * t_1 + (t_1 + t_2) = n * t_1 + t_2$$

Nebo obecně:

$$MTTL(VP_1) = n * m * t_1 + m * t_2 = m * (n * t_1 + t_2)$$

Kde: n = 1 až k

m - velikost dávky

k – celkový počet dávek v jednotlivých zakázkách

t₁ – procesní čas u „stroj_1“

t₂ – procesní čas u „stroj_2“

V našem případě:

- Dávková průběžná doba výroby u zakázky VP_1

$$MTTL(VP_1) = n * 10 + 10$$

- Zakázková průběžná doba výroby u zakázky VP_1 :

$$MTTO(VP_1) = t_1 + k * t_2$$

$$MTTO(VP_1) = 10 + 10 * 10 = \mathbf{110 \text{ (min)}}$$

- Dávková průběžná doba výroby u zakázky VP_2 :

$$MTTL(VP_2) = MTTO(VP_1) - t_2 + t_1 + n * t_2 = MTTO(VP_1) + t_1 + (n - 1) * t_2$$

- Zakázková průběžná doba výroby u zakázky VP_2 :

$$MTTO(VP_2) = MTTO(VP_1) - t_2 + t_1 + k * t_2 = MTTO(VP_1) + t_1 + (k - 1) * t_2$$

$$MTTO(VP_2) = 110 + 10 + 9 * 10 = \mathbf{210 \text{ (min)}}$$

Pokud je zakázka rozdělena na dávky, pak je redukována i zakázková průběžná doba (MTTO(VP_1) = 110 min. MTTO(VP_2) = 210 min.). V porovnání s případem, kdy je zakázka zpracovávána jako celek (MTTO(VP_1) = 200 min. MTTO(VP_2) = 300 min), se snížila zakázková průběžná doba z 200 min. na 110 min, u druhé zakázky z 300 min. na 210 min. Výsledky simulace pro různé velikosti dávek z hlediska MTTL jsou shrnuty v Tabulce 10.

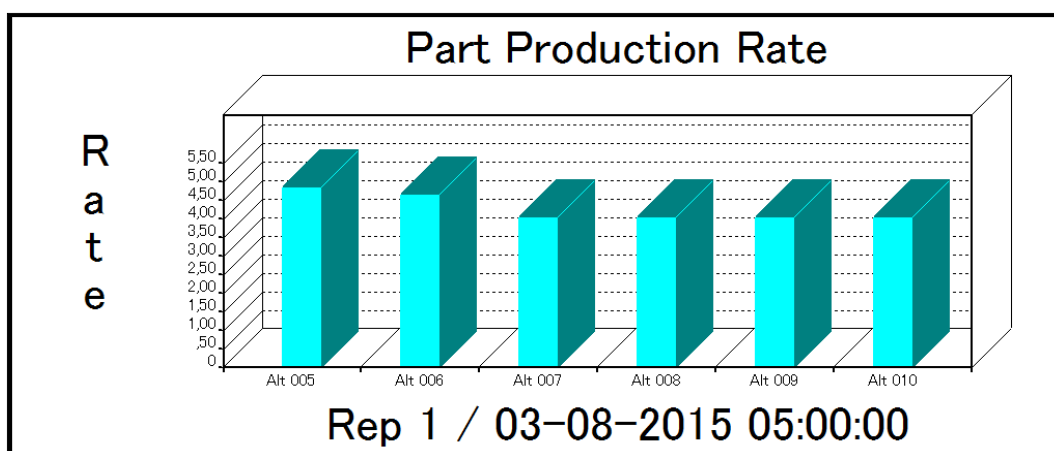
<u>Zakázka</u>	<u>Dávka</u>	<u>Výrobek</u>	<u>Dávková průběžná doba výroby – MTTL</u> <u>v hod.</u>	<u>Simulační alternativa</u>
VP_1	1	vyr_1	0.333	Alternative: 001 - vyr. dávka 1 kus
	2		0.500	
	3		0.667	
	4		0.833	
	5		1.000	
	6		1.167	
	7		1.333	
	8		1.500	
	9		1.667	
	10		1.833	
VP_2	1	vyr_2	2.000	Alternative: 001 - vyr. dávka 1 kus
	2		2.167	
	3		2.333	
	4		2.500	
	5		2.667	
	6		2.833	
	7		3.000	
	8		3.167	
	9		3.333	
	10		3.500	

Tabulka 10: Výsledné hodnoty MTTL pro jednotlivé zakázky a různé velikosti dávky

Vliv velikosti výrobních dávek na průběžné doby výroby je dále zkoumán tím, že jsou vygenerovány alternativní simulační modely, kde se velikost výrobních dávek mění od 1 do 10 kusů. Ganttovy diagramy zdrojů potvrzují výše uvedené tvrzení, že se zvětšující se velikostí výrobní dávky narůstá zakázková průběžná doba výroby (MTTO) a dávková průběžná doba výroby (MTTL) (viz Příloha 11). Tento závěr vyplývá i ze skutečnosti, že se větší výrobní dávky zpracovávají delší dobu a zdržují další dávky čekající ve frontě na zdroj. (Pozn.: číslo simulační alternativy na Obrázku 22 odpovídá počtu kusů v dávce).

Podobnou závislost lze odvodit i z výkonnosti (propustnosti) výrobního systému, která je definována jako počet vyrobených dílců za jednotku času (většinou je jako jednotka času uvažována hodina) tzv. Production Rate (PR). Propustnost simulovaného výrobního systému klesá se zvyšováním velikosti výrobní dávky (viz Příloha 12). Tento pokles pokračuje do alternativy č. 7, u které je velikost výrobní

dávky 7 kusů, jak je zřetelné z grafu na Obrázku 22. Další zvyšování velikosti výrobní dávky nemá vliv na propustnost výroby. V praxi lze pomocí simulačního přístupu optimalizovat i velikost výrobní dávky, přitom je nutné poznamenat, že jediným optimalizačním kritériem nebude jenom výkonnost výroby.



Obrázek 22: Vliv velikosti výrobní dávky na propustnost systém

Vliv výrobních dávek, transportních dávek a transportního zdržení na průběžné doby výroby

Pokud nelze snížit velikost výrobní dávky, čekací doba může být ještě snížena pomocí redukce transportní dávky (jejíž velikost bude nižší než velikost výrobní dávky).

Snížení velikostí transportní dávky má stejné dopady na kapacitu manipulačních zařízení, na plánování a řízení výroby a na informační systém, jako zmenšení velikosti výrobní dávky. Nicméně nemá vliv na počet seřízení, pokud jsou všechny transportní dávky stejné výrobní dávky zpracovány dříve, než jsou zpracovány polotovary jiného typu. Snížení velikosti transportní dávky má také menší dopad na kapacitu manipulačních zařízení, plánování a řízení výroby a kapacitu informačního systému, pokud jsou použity výrobní buňky namísto funkčního uspořádání.

Sloupec 3 na Obrázku 17 ukazuje, že snížení transportního času může být dosaženo tím, že se sníží buď čas potřebný na přesun, nebo počet požadovaných přesunů. Dále může být transportní čas zredukován zvýšením rychlost zařízení manipulujícího s materiálem (což nemusí být možné z důvodu bezpečnostních dopadů), nebo snížením požadované vzdálenosti přesunu. Je-li rychlost systému manipulujícího s materiálem zvýšena prostřednictvím instalace dopravníků nebo jiné automatizované manipulační techniky, je otázkou, jak reálná by tato možnost byla v případě použití funkčního uspořádání. Vzdálenost přesunu může být někdy snížena reorganizací zařízení pro optimalizaci přesunu materiálu mezi odděleními ve funkčním uspořádání. Míra redukce je však vyšší v případě, že zařízení provádějící sekvenční operace jsou seskupena do výrobních buněk.

Pokud je použito funkční uspořádání, počet přesunů vyžadujících manipulační zařízení může být často snížen seskupením pracovních stanic provádějících sekvenční

operace do výrobních buněk. V některých případech se zavedením technologických vylepšení, která umožňují zpracování více sekvenčních operací pomocí jediného stroje, může dosáhnout stejného výsledku (například jeden frézovací stroj CNC se používá k provedení činností, které předtím vykonalo několik strojů). [56]

V následujícím pojednání je uvažována interakce vlivů výrobních a transportních dávek na průběžné doby výroby. Simulační model je zpracován za dodržení následujících předpokladů:

- Velikost výrobní dávky je stejná jako velikost transportní dávky a mění se v rozsahu 1 až 10 kusů v dávce.
- Časové zdržení během transportu je stanoveno na **5 min.**, tj. transportní doba je nižší než procesní časy.
- Výrobní příkazy (VP_1 a VP_2) jsou uvolněny do výroby ve stejném časovém okamžiku

V Tabulce 11 jsou porovnány PR pro měnící se velikosti výrobních dávek (porovnání PR v podobě grafu je uvedeno jako Příloha 13). Uvažovány jsou i transportní operace (časové zdržení při přesunu dávek). Transportní dávka je stejná jako výrobní dávka. Transportní zdržení snižuje PR. Jelikož je celkový počet vyráběných dílců konstantní, snižování PR je ovlivněno **zvyšováním průběžných dob výroby**. Například pokud se porovnává alternativa 003 (Alternative: 003 - vyr. dávka 3 kusy) a alternativa alternativa 013 (Alternative: 013 – vyr. dávka 3 kusy+transport) je z tabulky zřejmé, že PR se z 5.217 (ks/hod) snížil na 4.898 (ks/hod).

<u>Alternative</u>	<u>Production Rate</u>
Alternative: 001 - vyr. dávka 1 kus	5.714
Alternative: 011 - vyr. dávka 1 kus+transport 5 min.	5.581
Alternative: 003 - vyr. dávka 3 kusy	5.217
Alternative: 013 - vyr. dávka 3 kusy+transport 5 min.	4.898
Alternative: 005 - vyr. dávka 5 kusů	4.800
Alternative: 015 - vyr. dávka 5 kusů+transport 5 min.	4.706

Alternative: 007 - výr. dávka 7 kusů	4.000
Alternative: 017 - výr. dávka 7 kusů+transport 5 min.	3.934

Tabulka 11: Hodnoty PR pro jednotlivé alternativy simulačního modelu, kde je transportní čas menší než procesní čas

Výše uvedené tvrzení platí pro transportní časy nižší než procesní časy. V našem případě je transportní čas 5 min. a procesní časy na každém ze strojů 10 min. Jiná situace nastává, když je transportní čas větší než procesní čas. Snižování velikosti transportní dávky vede ke zvyšování souhrnných transportních časů. Pro zjištění této závislosti je vypracován simulační model a alternativy, u kterých se mění velikost dávky podle následujících specifikací:

- Velikost výrobní dávky je stejná jako velikost transportní dávky a mění se v rozsahu 1 až 10 kusů v dávce.
- Časové zdržení během transportu je navýšeno na **30 min.**, tj. transportní doba je 3 krát delší než procesní čas u jednotlivých strojů (10 min.).
- Výrobní příkazy (VP_1 a VP_2) jsou uvolněny do výroby ve stejném časovém okamžiku

Změny v délce průběžné doby výroby jsou znovu posuzovány s ohledem na PR (Production Rate). Jak ukazuje Tabulka 12 maximální PR a nejkratší průběžné doby výroby jsou u velikosti dávek 3 kusy (viz Graf v Příloze 14). Podobně krátkých průběžných dob je docíleno i u dávek o velikosti 4 a 6 kusů. Pokud se jako další optimalizační kritérium uvažují i náklady na dopravu, pak je možné zvolit jako nejlepší alternativu „Alternative: 025 - výr. dávka 6 kusů+transport 30 min.“, u které je velikost dávek 5 kusů – to znamená, že se provedou jenom 2 transportní operace. Další navyšování velikosti dávek nemá vliv na průběžnou dobu výroby – u alternativ s velikostí dávek 6 až 10 kusů je PR=3.363 (ks/hod).

<u>Alternative</u>	<u>Production Rate</u>
Alternative: 021 - výr. dávka 1 kus+transport 30 min.	1.935
Alternative: 022 - výr. dávka 2 kusy+transport 30 min.	3.529
Alternative: 023 - výr. dávka 3 kusy+transport 30 min.	4.444

Alternative: 024 - výr. dávka 4 kusy+transport 30 min.	4.138
Alternative: 026 - výr. dávka 5 kusů+transport 30 min.	4.286
Alternative: 026 - výr. dávka 6 kusů+transport 30 min.	3.636
Alternative: 027 - výr. dávka 7 kusů+transport 30 min.	3.636
Alternative: 028 - výr. dávka 8 kusů+transport 30 min.	3.636
Alternative: 029 - výr. dávka 9 kusů+transport 30 min.	3.636
Alternative: 030 - výr. dávka 10 kusů+transport 30 min.	3.636

Tabulka 12: Hodnoty PR pro jednotlivé alternativy simulačního modelu, kde je transportní čas větší než procesní čas

Výše uvedené simulační experimenty potvrzují nutnost optimalizovat průběžné doby výroby za použití simulačních metod.

Vliv seřizovacích časů na průběžné doby výroby

Sloupec 3 z Obrázku 17 ukazuje, že snížení seřizovacího času může být dosaženo zkrácením času potřebného na seřízení každého stroje anebo snížením počtu seřízení. Seřizovací čas může být snížen nákupem strojů s krátkými seřizovacími časy, zlepšením postupů při seřízení, sdružením pracovišť do skupin s podobnými požadavky na seřízení anebo pomocí sdružení polotovarů, které mají stejné požadavky na seřízení, do dávek. Sdružením pracovišť do skupin a polotvarů do dávek může také redukovat počet potřebných seřízení. [58][59]

Seřizovací (přípravné) časy do značné míry ovlivňují průběžné doby výroby. Je nutné analyzovat výrobní systém a určit kdy tyto časy vznikají. Je několik variant vzniku přípravných časů:

1. jenom když se mění typ výrobku
2. mezi stejnými výrobky
3. z různých technologických důvodů
4. kombinace výše uvedených důvodů

Ad 1) V tomto případě se pro určení seřizovacích časů může použít tzv. „matice přeseřzení“, udávající kombinace přechodů z jednoho typu výrobku na další typ a odpovídající seřizovací časy. V Tabulce 13 je uveden příklad takové matice pro výrobky A, B a C:

Výrobek	A	B	C
A	0h	1h	2h
B	1h	0	3h
C	2h	3h	0

Tabulka 13: Matice přeseřzení udává seřizovací časy pro přechody na různé typy výrobků

Seřizovací čas se určuje podle průsečíků typů výrobků. Například stroj se seřídí seřizovačem a dále vyrábí dílce bez dalšího zásahu obsluhy.

Ad 2) Seřizovací čas v průsečíku stejných výrobků může být nulový, ale může nabývat určité hodnoty. Pokud operátor musí nejprve seřídít (připravit) stroj po změně typu výrobků a potom musí obsluhovat stroj po vyrobení každého dílce, pak čas průsečíku stejného výrobku není nulový.

Ad 3) Stroj se musí přeseřdit z různých důvodů a podle různých požadavků. Například po vyrobení 2000 výlisků raznice se musí zkontrolovat a opravit dle potřeby apod.

Pro zjištění vlivů seřizovacích časů na průběžné doby výroby zavedeme do hypotetického výrobního systému seřizovací časy:

Varianta a):

- Seřizovací čas 40 min se aplikuje, jenom když se mění typ výrobku
- Dávka 1kus u obou výrobku se zpracovává celá
- Velikost zakázek je 1 kus. Zakázky jsou uvolňování do výroby zároveň.

Obrázek v Příloze 15 znázorňuje navyšování všech sledovaných průběžných dob o seřizovací časy. V tomto případě jsou uvažovány i transportní časy. Navýšení průběžných dob oproti původnímu ideálnímu výrobnímu systému je zachyceno v Tabulce 14.

	Průběžné doby ideální výroby	Průběžné doby výroby s uvažováním seřízení a transport
MTTP(VP_1)	20 min.	105 min.
MTTP(VP_2)	20 min.	105 min
MTTL(VP_1)	20 min.	105 min
MTTL(VP_2)	30 min.	155 min.
MTTO(VP_1)	20 min.	105 min
MTTO(VP_2)	30 min.	155 min.

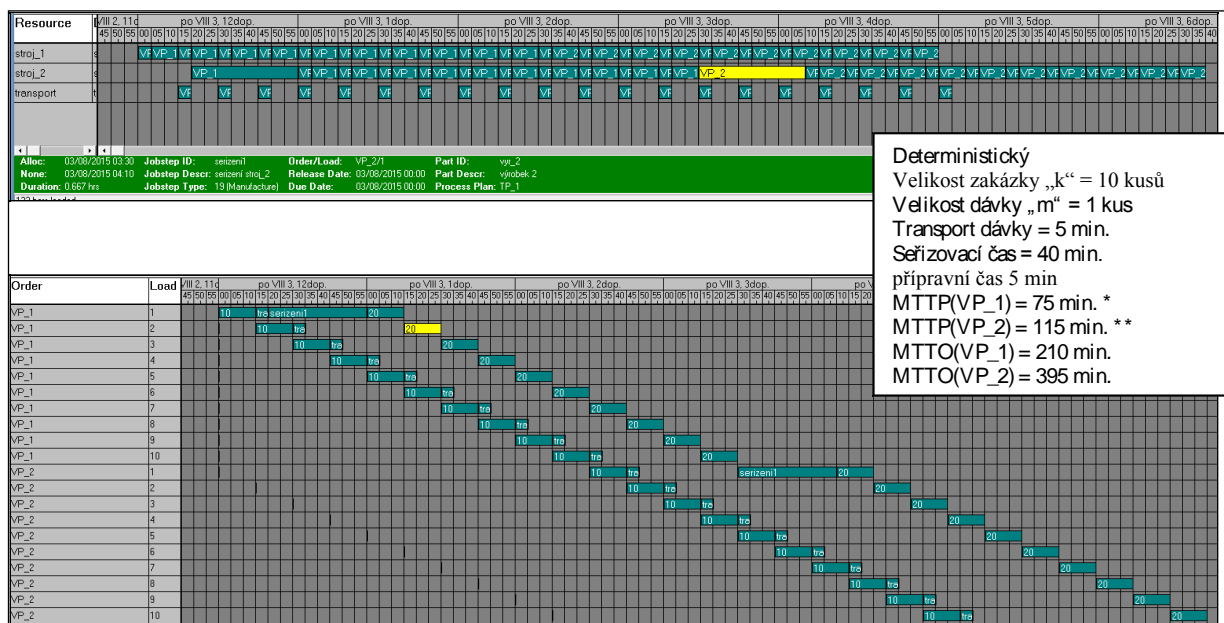
Tabulka 14: Navýšení průběžné doby výroby oproti alternativě bez seřízení a transportu

Další navyšování seřizovacích a transportních časů navýší o stejných časech průběžné doby.

Varianta b):

- Seřizovací čas 40 min se aplikuje, když se mění typ výrobku (například pro přeseřízení stroje)
- Přípravný čas je 5 min (je zapotřebí například pro upínání každého výrobku)
- Velikost dávky je 1 kus u obou výrobků
- Velikost každé zakázky je 10 kusů. Zakázky jsou uvolňovány do výroby ve stejném časovém okamžiku.

Na Obrázku 23 jsou uvedeny Ganttovy diagramy zdrojů a výrobních dávek pro variantu b). Je zřejmý značný vliv seřizovacích, přípravných a transportních časů na průběžné doby výroby. Dávkové časy na Obrázku 23 nejsou uvedeny, protože jejich velikost závisí na pořadovém čísle dávky. Navyšování seřizovacích časů přímo úměrně navyšuje průběžné doby výroby. Redukce těchto časů u výrobce povede ke snížení průběžných dob a zvýšení pružnosti výroby.



Obrázek 23: Ganttovy diagramy pro zdroje a zakázky zobrazují vliv seřizovacích, přípravných a transportních časů na průběžné doby výroby

Vliv délky front na průběžné doby výroby

Konečný způsob, jak snížit čekací dobu, je snížení počtu front zvýšením počtu po sobě jdoucích operací, které provádí stejný operátor nebo stroj. Předpokládejme například, že kovový díl vyžaduje několik různých operací frézování, vrtání, apod. a tyto operace v současné době probíhají na různých strojích vyrobených speciálně pro tento účel. Na každém stroji se musí díl zařadit do fronty a čekat na zpracování. Naproti tomu v případě, že mohou být všechny tyto operace provedeny na CNC frézce, jsou fronty mezi operacemi eliminovány.

Eliminace čekací doby sníží MTTP, nedojde ke zvýšení seřizovacího času a času na zpracování vyplývajícího z použití CNC. Podobně, vyškolení operátorů na provádění více montážních úkolů, které byly dříve zpracovávány jednotlivými pracovníky, sníží MTTP. [56]

Vliv variability procesů na průběžné doby výroby

Ve výše uvedeném pojednání se předpokládalo, že procesy ve výrobě jsou ustálené a predikovatelné. Například procesní časy jsou deterministické nikoliv pravděpodobnostní. Skutečné procesy ve výrobě jsou ale variabilní, proměnlivé a nestálé a tato skutečnost ovlivňuje průběžné doby výroby. V reálném provozu neexistují ideální procesy bez variability, a proto je nezbytné zavést i variabilitu do hypotetického modelu výrobního systému.

Variabilita může být kontrolována (řiditelná) nebo náhodná (pravděpodobnostní). [60] Kontrolována variabilita vzniká jako výsledek rozdílů procesních a seřizovacích časů u různých strojů a výrobků nebo rozdílů vznikajících na základě různých velikostí výrobních dávek apod. Náhodné variability se vymykají kontrole a vznikají

neřiditelně a nepředvídatelně. Taková je variabilita procesních časů u jednoho a toho samého výrobku, neplánovaných odstávek strojů kvůli poruše, nedostatků v zásobování apod.

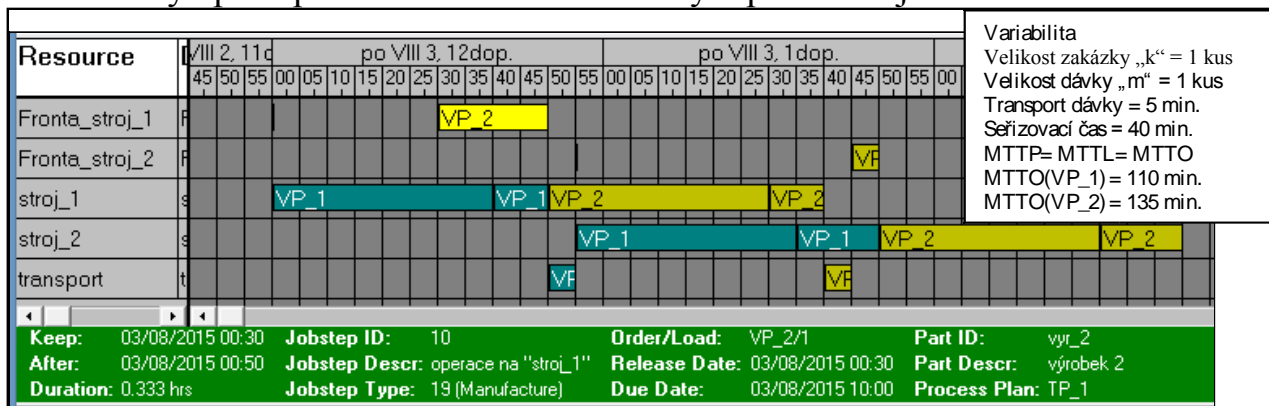
Všechny výše uvedené variability pak mají za následek to, že výrobní dávka přichází ke stroji, který je obsazen předcházející dávkou. Dávka se musí zařadit do fronty před tímto strojem a čekat na zpracování. Čekání ve frontě navyšuje průběžné doby.

Níže uvedený simulační model ukazuje vliv variability procesních časů a časů uvolnění zakázky do výroby na délky front a průběžné doby. Simulační model obsahuje následující vstupní hodnoty:

- Seřizovací čas je 40 min
- Velikost dávky je 1 kus u obou výrobků
- Velikost každé zakázky je 1 kus
- Transportní čas je 5 min.
- Kontrolovaná variabilita spočívá v následujících změnách:
 - Procesní časů „stroj_2“ se změnil z 10 na 15 min.
 - Zakázky jsou uvolňovány do výroby ve stejném časovém okamžiku.

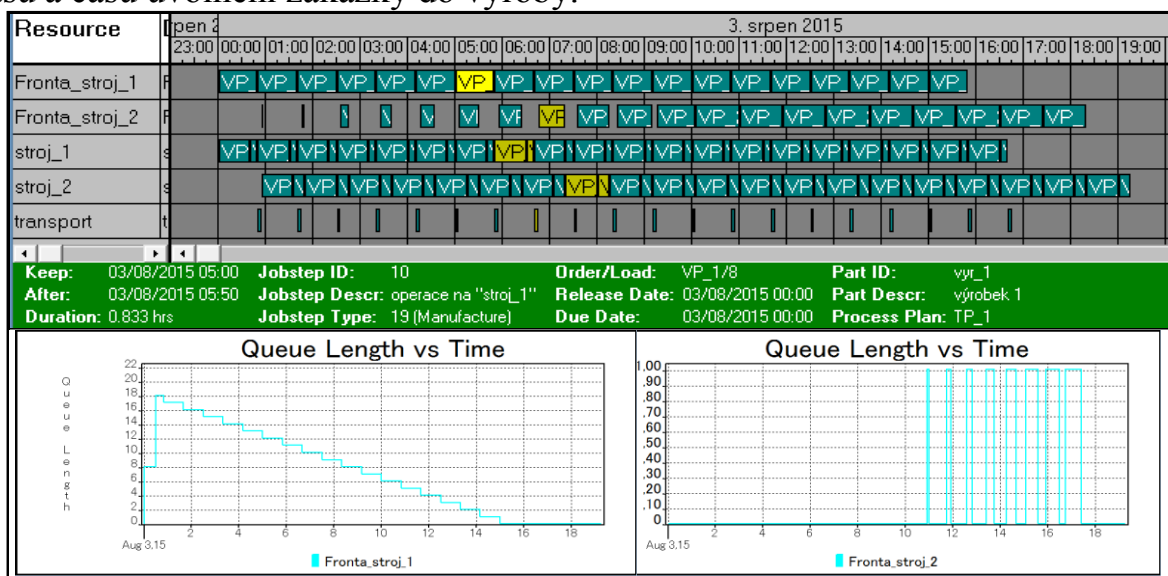
Pro zobrazení čekacích dob u strojů jsou zavedeny fiktivní zdroje: „Fronta_stroj_1“ a „Fronta_stroj_2“. Pokud výrobní dávka čeká ve frontě na stroj, je zároveň alokovan i fiktivní zdroj, jehož obsazení se zobrazí v Ganttově diagramu. Z Obrázku 24 je zřejmé, že zakázka VP_2 čeká před „stroj_1“ („Fronta_stroj_1“) a toto čekání je zaviněno faktem, že zakázky jsou uvolňovány do výroby ve stejném časovém okamžiku. Zakázka „VP_1“ alokuje jako první „stroj_1“, kdežto zakázka „VP_2“ čeká ve frontě 45 min. Další fronta a čekací doba vzniká před strojem „stroj_2“. Zakázka „VP_2“ čeká ve frontě na uvolnění druhého stroje, kde se zrovna zpracovává první zakázka. Čekání ve frontě druhého stroje je zaviněno změnou procesního času u druhého stroje z 10 na 15 min.

Průběžná doba zakázky se může ve výše uvedeném případě změnit, pokud se změní čas uvolnění do výroby pro druhou zakázku. Druhá zakázka je uvolněna do výroby o 30 min. později než první zakázka a o tolik se zkrátila i průběžná doba druhé zakázky oproti průběžné době této zakázky v předcházející alternativě.



Obrázek 24: Ganttův diagram zobrazuje alokaci fiktivního zdroje při čekání výrobní dávky ve frontě.

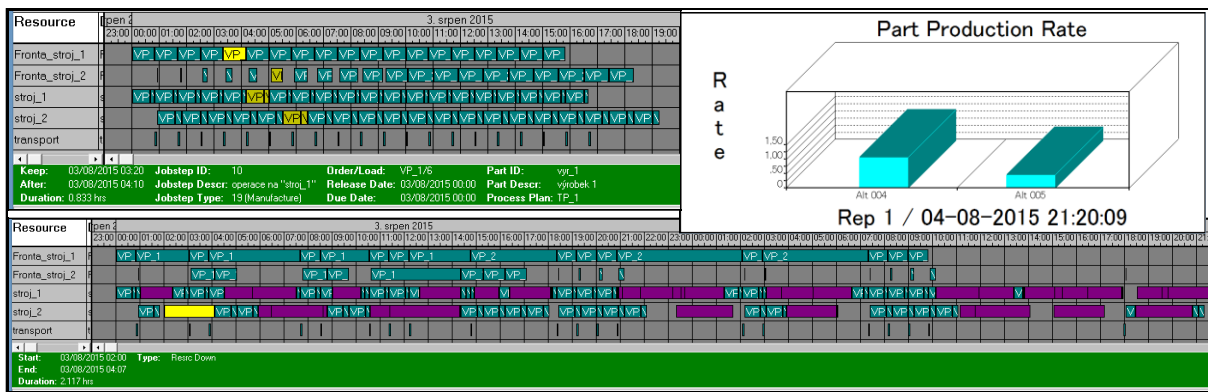
Mnohem výrazněji se navýšení čekací doby ve frontách projeví, když do výrobního systému budou vstupovat 2 zakázky po 10 kusech, ale velikost výrobní dávky bude 1 kus. Obrázek 25 znázorňuje délky front u strojů a Ganttův diagram zdrojů. „Fronta_stroj_1“ je vstupní fronta do výroby. Je zobrazen vstup zakázky „VP_1“ na začátku simulačního běhu a uvolnění zakázky „VP_2“ po 30 minutách. Vstupní fronta skokově narůstá na 18 čekajících výrobků, které se dále postupně zpracovávají. „Fronta_stroj_2“ je ve výši jednoho výrobku, ale čas setrvání ve frontě postupně narůstá. Průběžná doba výroby se zvyšuje se zvyšujícím se časem setrvání ve výrobě, který je následkem změny variability vstupních parametrů – procesních časů a času uvolnění zakázky do výroby.



Obrázek 25: Ganttův diagram pro zdroje a délky front u strojů pro vstup 2 zakázek po 10 kusech

Vliv náhodné variability na průběžné doby výroby je analyzován u simulačního modelu hypotetického výrobního systému, který má stejnou strukturu jako u předcházejícího modelu. Rozdíl spočívá v tom, že jsou definovány poruchy strojů. U prvního stroje je čas mezi poruchami definován podle exponenciálního rozdělení se střední hodnotou 2 hod. a je využit generátor náhodných čísel číslo 1 - EXPONENTIAL(2,1). Doba opravy stroje je podle rozdělení „uniform“, které má 3 hodnoty: nižší 1 hod., vyšší 2 hod. a je využit generátor náhodných čísel 2. Podobně jsou tyto rozdělení definovány i u druhého stroje.

Průběžné doby jsou graficky porovnány podle Ganttových diagramů na Obrázku 26. Vlivem poruch jsou průběžné doby prodloužené. Toto je patrné i z grafu porovnávajícího PR (Production Rate) obou alternativ: „Alt 004“ bez poruch strojů oproti „Alt 005“ obsahující poruchy. Přesná kvantifikace změn průběžných dob obou alternativ není objektem dalšího zkoumání vzhledem k tomu, že simulovaný výrobní systém je hypotetický.



Obrázek 26: Porovnání PR alternativy bez poruch a s poruchami strojů

Vliv vytížení zdroje na průběžné doby výroby

MTTP je silně ovlivněna využitím pracoviště. Využití pracoviště může být definováno jako "celkový požadovaný čas práce na zdroji za období vydělený celkovým časem dostupnosti pracoviště za období". V této souvislosti se celkový požadovaný čas práce na zdroji za období rovná součtu doby strávené seřizováním stroje, zpracováním dílů, čekáním na příchod operátora, který stroj obsluhuje, a čekáním na opravy porouchaných strojů. Celkový čas dostupnosti pracoviště za období se rovná součtu časů, kdy jsou dostupné všechny identické stroje ze skupiny pracoviště.

Využití pracoviště se sníží v případě, že se celkový požadovaný čas práce na zdroji za období snižuje úměrně více, než je snižován celkový čas dostupnosti za období, nebo v případě, že se celkový požadovaný čas zvyšuje úměrně méně, než se zvyšuje celkový čas dostupnosti.

Celkový čas dostupnosti za období může být zvýšen přidáním zařízení, pokud je kapacita stroje omezena, přidáním pracovníků (a případně další směny), pokud je kapacita pracovníků omezena, a snižováním absencí. Celkový požadovaný čas lze redukovat snížením kadence příchoďů výrobních zakázek na pracoviště (což povede ke snížení výkonu systému), anebo snížením seřizovacích časů, doby zpracování 1 dílu, prostojů zařízení, zmetkovitosti a oprav, a zpoždění kvůli nedostupnosti pracovníků. Snížení zpoždění kvůli nedostupnosti pracovníků může vyžadovat přidání dalších pracovníků (což rovněž zvyšuje kapacitu), přiřazení odpovědnosti pracovníka, nebo vyškolení pracovníků na zajištění více úkolů. Tím se sníží využití zařízení, ale nemusí se nutně zvyšovat celkové průměrné využití pracovníků. Dostupnost zdrojů se pak zvyšuje bez navýšení využití a doba čekání se snižuje.

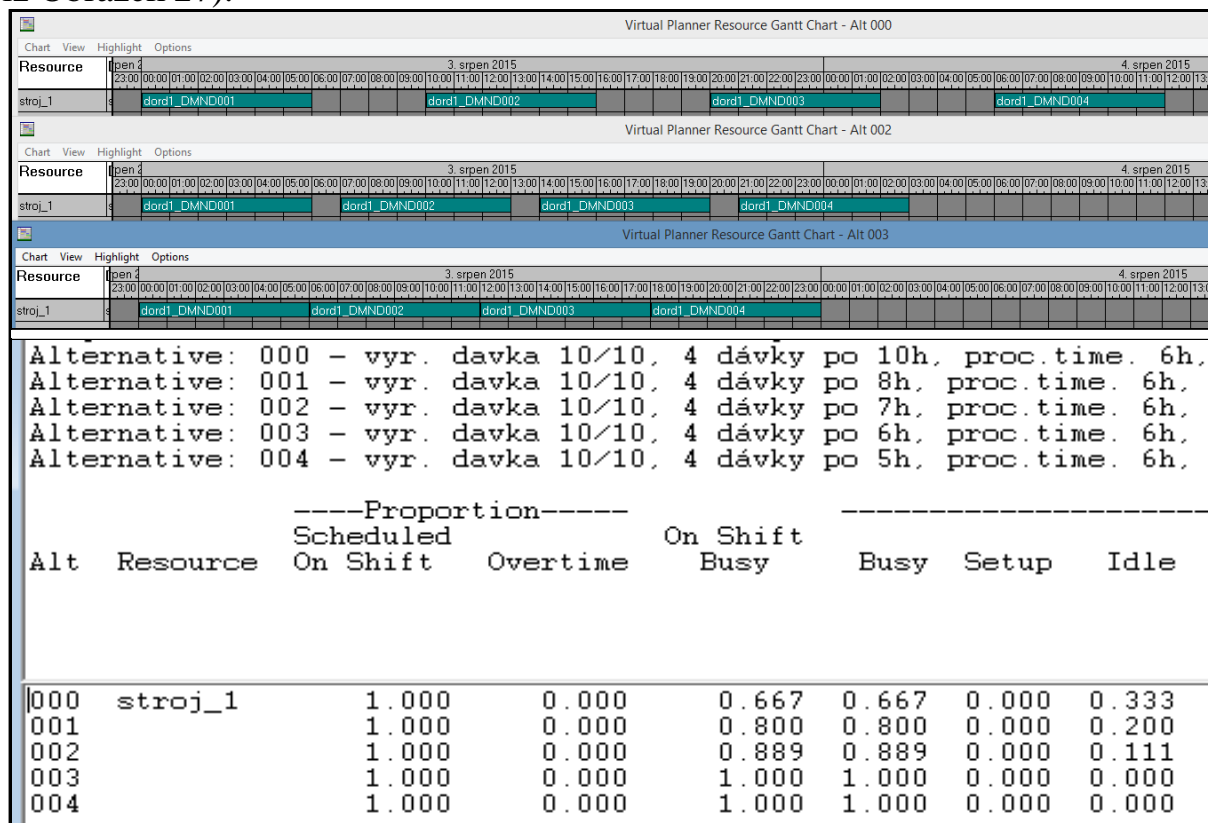
Obrázek 17 ukazuje, že MTTP může být také snížena zlepšením přístupu ke zdrojům. Přístup ke zdroji může být optimalizován nákupem zařízení, najímáním pracovníků, prací přesčas atd. Záměrem tohoto faktoru je zvýšit přístup ke zdrojům, aniž by vznikly dodatečné náklady. Pomocí vyškolení pracovníků a sdružování pracovišť může být dosaženo obou těchto cílů. [56]

Vliv vytížení zdroje na průběžné doby výroby vyplývá z toho, že při zvětšujícím se vytížení zdrojů musí zakázky nebo dávky přicházející do výroby déle čekat na

uvolnění strojů. Čím je stroj vytíženější, tím se zvyšuje i pravděpodobnost, že nebude dostupný pro nové zakázky. Zakázky pak musí čekat ve frontě na uvolnění stroje.

Pro zkoumání vlivu vytížení zdroje na průběžné doby výroby je vypracován jednoduchý simulační model výroby obsahující jenom 1 stroj. Do výroby vstupují 4 výrobní dávky po 10 kusech. Dávky jsou zpracovávány jako celek během 6 hod. Frekvence vstupu dávek do výroby se mění od 10h do 3h s krokem 1 hodina. Podle této frekvence je rozpracováno 7 alternativ.

Vliv měnící se frekvence vstupu dávek na průběžné doby je zjevný při porovnání Ganttových diagramů. Obrázek 27 obsahuje Ganttovy diagramy pro 3 alternativy: Alt 000, Alt 002, Alt 003. U alternativy Alt000 a Alt002 jsou dávky zpracovány okamžitě po uvolnění do výroby. Přitom využití stroje je 66.7 procent a 88.9 procent (viz Obrázek 27).



Obrázek 27: Ganttovy diagramy a vytížení zdrojů potvrzuje vliv změny frekvence vstupu dávek na průběžné doby

Průběžná doba zakázky (výrobního příkazu) je delší, i když je využití stroje nižší. V alternativě Alt003 dávka vstupuje do výroby v okamžiku uvolnění stroje a to bez čekání na zpracování ze strany dávky nebo stroje: $MTTP=MTTL$. Stroj je využit na 100 procent. V alternativách Alt004 až Alt006 dávky přicházejí ke stroji dříve, než se uvolní a čekají ve frontě na obsluhu. Stroj je využit na 100 procent a PR (Production Rate) je konstantní a maximální. Dávkový čas MTTL zahrnuje procesní čas a čekací dobu. Čím dříve dávka přichází ke strojům, tím je větší MTTL, ale MTTO je konstantní tak jako i PR.

7 SW PODPORA TVORBY SIMULAČNÍCH MODELŮ VÝROBY ZA ÚČELEM REDUKCE PRŮBĚŽNÝCH DOB

Kapitola 7 obsahuje stručný přehled prostředků, které je možné využít k analýze a optimalizaci výrobních systémů. V úvodu kapitoly jsou uvedeny programovací jazyky, které se používají k vytváření simulačních knihoven, a komplexní simulační nástroje. Z těchto nástrojů byl zvolen Tecnomatix Plant Simulation (Siemens) jako vhodný pro redukci průběžných dob výroby. To potvrzuje i příklad jeho využití v kapitole 7.2.2.

7.1 PŘEHLED SIMULAČNÍCH PROSTŘEDKŮ

Primárně lze simulační prostředky rozdělit na programovací jazyky, pomocí nichž jsou vytvořeny simulační knihovny a vizuální prostředí a komplexní simulační nástroje, které zahrnují předdefinované simulační komponenty s příslušným chováním, algoritmy a grafické prostředí. Z důvodu orientace v obou kategoriích jsou níže uvedeny někteří zástupci programovacích jazyků a nástrojů pro simulaci výroby spojitě, diskrétní i hybridní (výroba kombinující spojitě a diskrétní charakteristiky výrobních systémů).

7.1.1 Simulační programovací jazyky a knihovny

- **C ++SIM** (Autor: University of Newcastle upon Tyne)

C ++ SIM obsahuje C ++ knihovny pro simulaci systémů diskrétních událostí. C ++ SIM je objektově orientovaný simulační balíček napsaný v C ++. Poskytuje nástroje pro simulaci diskrétních událostí podobné simulační třídě a knihovně jazyka SIMULA. C ++ SIM obsahuje: simulační rutiny podobné jazyku SIMULA, generátory náhodných čísel, algoritmy pro řazení do fronty, balíček rozhraní, nastavení entit a manipulačních zařízení podobné SIMSET, třídy umožňující "non kauzální" události, jako je například přerušení, různé statistické rutiny pro shromažďování dat, jako je histogram a v neposlední řadě ladící třídy.

- **JavaSim** (Autor: M. C. Little)

Jedná se o Java verzi C ++ SIM. JavaSim je sada Java balíčků pro tvorbu simulací procesů diskrétních událostí, podobný tomu v Simula a C ++ SIM (z nichž je JavaSim odvozen). Sada je zdarma pro výzkum a vzdělávání.

- **Simjava** (Autor: University of Edinburgh)

Simjava je procesně založený balíček pro simulaci diskrétních událostí pro Javu, podobný Jade Sim ++, s animací zařízení.

- **SIMSCRIPT III** (Autor: CACI Products Company)

Simulační jazyk SIMSCRIPT je určen k použití pro simulace diskrétních událostí a kombinované (diskrétní / spojitě) simulace. SIMSCRIPT III je otevřené prostředí, a povoluje funkce a rutiny psané v jiných jazycích jako C, C ++ nebo Java, které mají být vyvolány jednoduchými příkazy. Rychle a snadno se

propojuje se specializovanými knihovnami, databázemi a balíčky, jako je HLA RTI.

- **Simple 1** (Autor: Sierra Simulations & Software)

SIMPLE_1 podporuje modelování diskretních a spojitých systémů pomocí orientace na modelování sítí. Funkce jazyka zahrnují schopnost uživatele deklarovat proměnné a požadavky na statistiky, provádět I/O (vstupně výstupní) operace se soubory a animovat výsledky simulace v reálném čase pomocí vestavěných jazykových prvků. SIMPLE_1 využívá opakovaný přístup ke spuštění kontroly s cílem usnadnit hledání cíle modelování a definovat délku běhu vycházející z chování modelu. SIMPLE_1 je nyní uvolněn pod GNU GPL a zkompileován pod RedHat Linux

- **Aivika** (Autor: David Sorokin)

Aivika je rozšiřitelná multi-paradigmatická simulační knihovna napsaná v F#. Umožňuje používat systémovou dynamiku, provádět simulaci diskretních událostí (procesně orientovaná paradigmata, paradigmata orientovaná na aktivity a události) a modelování založené na využití agentů v jednom hybridním modelu.

- **RanD Model Designer** (Autor: RanD Service Ltd)

Rand Model Designer je vysoce výkonné vizuální prostředí pro modelování a simulaci složitých dynamických systémů. Rand Model Designer používá uživatelsky přívětivý objektově orientovaný modelovací jazyk pro rychlý a efektivní návrh komplexních modelů. Rand Model Designer je určen pro projektování spojitých, diskretních a hybridních modelů, které mohou být použity k provádění interaktivních výpočetních experimentů.

- **CppSim System Simulator** (Autor: MIT)

CppSim je bezplatný simulační balíček, který využitím jazyka C++ umožní velmi rychlé simulace systémů. Uživatel provádí návrh v grafickém editorem *Sue2*, spustí simulaci pomocí poskytnutého GUI nástroje, a pak zobrazí výsledky v *CppSimView*. CppSim automatizuje hodně procesů generováním kódu a odstraňuje mnohé potíže, často spojené s C++ simulací. Uživatel může jednoduše připojit existující moduly v grafickém prostředí *Sue2*. Když je nutné vytvořit nové moduly, uživatel jednoduše vyplní formuláře šablon kódem k popisu chování modulu. CppSim lze volně stáhnout z webových stránek. [50]

7.1.2 Simulační softwarové nástroje

- **SIMUL8** (Autor: SIMUL8 Corp.)

SIMUL8 umožňuje uživateli vybrat si pro vytvoření modelu z předem definované množiny simulačních objektů a statistických rozdělání. To také umožňuje hierarchické modelování. Hlavní zaměření je na simulace diskretních událostí.

- **SIMPROCESS** (Autor: CACI Products Company)

Simprocess je objektově orientovaný nástroj pro modelování a analýzu procesů. Spojuje v sobě jednoduchost vývojových diagramů se silou simulace, statistické analýzy, Activity-Based Costing (ABC) a animace.

- **ARENA** (Autor: Rockwell Automation)

ARENA poskytuje simulační prostředí založené na vývojových diagramech a provádění procesně orientované simulace. Má schopnost být přizpůsobena jakékoliv aplikační oblasti. Je založena na modelovacím jazyku Siman.

- **Simio** (Autor: Simio LLC)

Simio kombinuje objektově orientovanou simulaci se simulací diskretních událostí, spojitou simulací a simulací založenou na využití agentů. Simio implementuje několik technických inovací, aby překonala škálovatelnost a obtížnost běžných problémů ve většině OO (Objektově orientovaných) aplikací. I když standardní knihovna objektů Simio obsahuje některé sofistikované výrobní objekty, je i nadále obecným účelem efektivně modelovat mnoho běžných aplikací. Zahrnuta plná 3D animace vytváří přesvědčivé animace. Možnost měnit a definovat inteligentní objekty pomocí procesních grafů bez programování, umožňuje v simulačním softwaru snadnější rozhodování. [50]

- **QUEST** (Autor: Delmia)

Simulační nástroj QUEST představuje kompletní 3D digitální podnik pro simulaci, analýzu, vhodnost a rentabilitu procesů. Z 3D modelu je možné určit optimální rozmístění zařízení, průběžné doby výroby výrobků, tok nákladů existujících nebo nových systémů. QUEST pracuje buď jako samostatný simulační program nebo je integrovaný do balíku (IGRIP, ENVISIO/ERGO, VIRTUAL NC). [46]

- **WITNESS** (Autor: Lanner Group Ltd.)

Witness je software pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů britské společnosti Lanner Group Ltd. Prediktivní technologie a simulační metody poutají stále více pozornosti odborníků v mnoha oblastech. Zachování konkurenční schopnosti a zvyšování úrovně poskytovaných služeb vyžaduje od organizací neustálé změny. V podmínkách přísného sledování nákladů je potřebné ověřovat možnosti plánovaných systémů a nacházet inovativní a úspěšná řešení. Požadavek na změnu technologických či organizačních procesů však s sebou přináší jisté riziko. Program WITNESS umožňuje modelovat výrobní systémy a simulovat důsledky různých rozhodnutí (viz Obrázek 28). Výsledkem je větší míra důvěry, že navržené řešení je pro organizaci to správné, ještě předtím, než je přistoupeno k jeho realizaci.

Jádro systému WITNESS doplňují moduly pro optimalizaci procesů, návrh a vyhodnocení experimentů, prezentaci výsledků simulace, zobrazení v prostředí virtuální reality, výměnu informací mezi nástroji WITNESS a Microsoft VISIO, propojení s CAD/CAM systémy, dokumentaci modelů a získávání znalostí z rozsáhlých souborů dat. [51]



Obrázek 28: 3D vizualizace simulačního modelu v prostředí nástroje Witness [52]

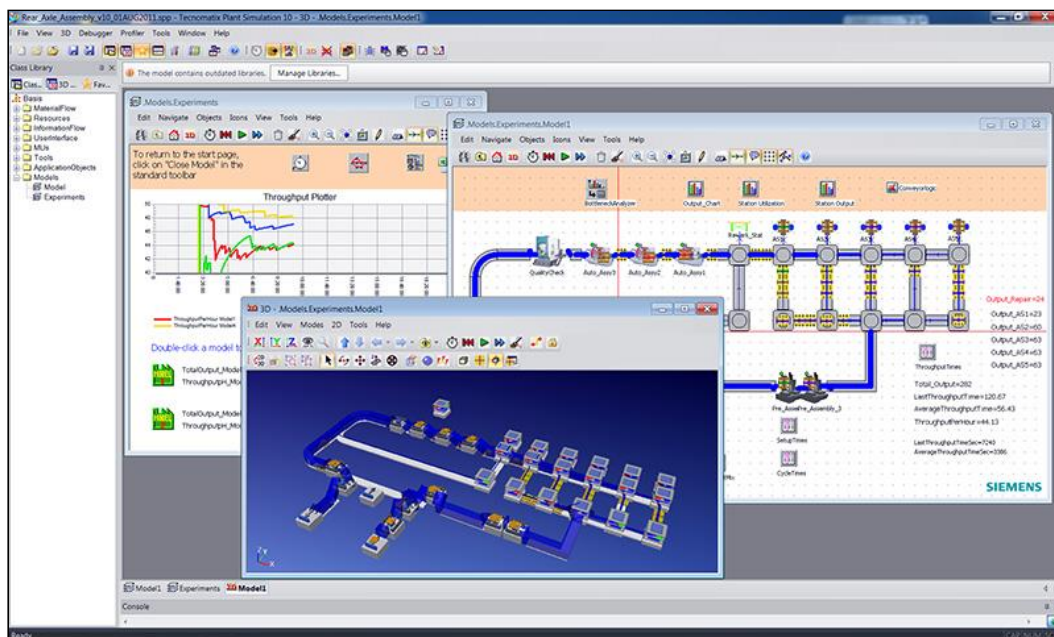
- **eM-Plant** (Autor: Tecnomatix Ltd.)

Jedná se o předchůdce simulačního software Tecnomatix Plant Simulation od firmy Siemens. Tento nástroj představoval rozšíření SW Simple++, který vyprodukovala společnost AESOP.

Jde o generaci objektově orientované diskrétní počítačové simulace výrobních, logistických a obslužných procesů. Produkt se uplatňuje v oblasti optimalizace nových, respektive existujících procesů, které přidávají hodnotu v organizacích. EM-Plant umožňuje rychlou stavbu modelu, prezentaci modelu v reálné virtualitě, „on-line“ změny, přístup na Internet, otevřenost k Microsoft Office a jiným produktům. [46]

- **Tecnomatix Plant Simulation** (Autor: Siemens Industry Software s.r.o.)

Plant Simulation je nástroj pro simulaci diskrétních událostí, pomocí nějž lze vytvářet digitální modely logistických systémů (např. výroby), na nichž lze zkoumat charakteristiky systému a optimalizovat jeho výkonnost (viz Obrázek 29). Tyto digitální modely umožňují provádět pokusy a scénáře „co kdyby“ bez narušení stávajících výrobních systémů nebo, v případě použití v procesu plánování, dlouho před instalací skutečných výrobních systémů. Rozsáhlé analytické nástroje, jako je analýza překážek, statistiky a grafy, umožňují vyhodnotit různé výrobní scénáře. Výsledky poskytují informace potřebné k činění rychlých a spolehlivých rozhodnutí v raných fázích plánování výroby. [53]



Obrázek 29: Simulační prostředí nástroje Plant Simulation [53]

7.2 VÝBĚR VHODNÉHO SIMULAČNÍHO NÁSTROJE

Následující kapitola shrnuje důvody volby nástroje Tecnomatix Plant Simulation pro vytváření simulačních modelů výroby zmíněných v této práci. V textu je uveden příklad, který podporuje využití tohoto softwaru pro redukci průběžných dob ve výrobních systémech.

7.2.1 Využití nástroje Plant Simulation k redukci průběžných dob výroby

Základním a nezbytným předpokladem pro jakoukoliv práci s Plant Simulation je existence počítačového modelu výroby nebo výrobní linky. A to pokud tato již fyzicky existuje nebo ne. Pokud ještě neexistuje, je možné Plant Simulation využít pro simulace výroby ještě dříve, než jsou výrobní linky sestaveny, a to za účelem následně je uspořádat na základě získaných informací z testování co nevyhodněji. Model musí být vytvořen velice přesně, musí tedy obsahovat všechny podstatné informace z reálné výroby, teprve pak se bude chovat identicky a bude na něm možné testovat virtuální chování celého systému, tedy potažmo reálné výroby. Pokud se bude počítačový model od reálného stavu lišit, získané výsledky budou zkreslené a jakékoli simulace a experimenty budou pozbývat smysl. [54] Příklad uvedený níže se zabývá využitím tohoto nástroje pro redukci průběžných dob.

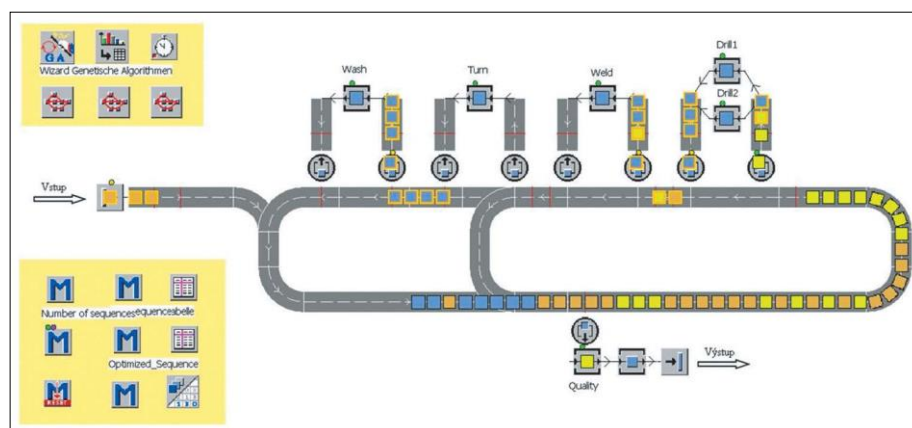
7.2.2 Simulace výrobní linky za účelem redukce průběžných dob

Tento příklad demonstruje reálnou výrobní linku, která je složena z několika pracovních stanic, v nichž se výrobky zpracovávají, a z dopravníků (s transportními stanicemi a senzory), pomocí nichž jsou mezi jednotlivými pracovišti výrobky přepravovány (viz Obrázek 30). Vstupními objekty do celé výrobní linky jsou tři

druhy produktů. Každý z nich má definovaný svůj sled výrobních operací, který se liší od sledu operací dalších dvou (viz Tabulka 15). Jednotlivé operace jsou:

- očištění (60 s)
- ohýbání (60 s)
- svařování (60 s)
- vrtání 1 (100 s)
- vrtání 2 (105 s)
- kontrola kvality (60 s)

Pro každou výrobní operaci je kapacita zásobníku (dopravníku) omezena.



Obrázek 30: Layout výrobní linky [54]

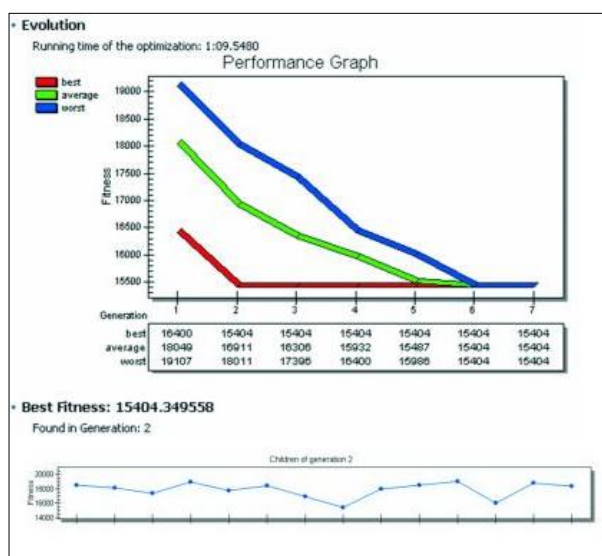
Do výroby vstupuje 36 objednávek. Každá z objednávek je na díl 1 nebo 2 nebo 3 a jeho požadované množství (celkem 144 produktů). Při výrobním sledu všech objednávek v takovém pořadí, v jakém jsou k dispozici, čili 1, 2, 3, ..., 36, bychom dosáhli celkového výrobního času 5 h a 10 min (zjištěno simulací produkce). Tato skutečnost vede ke snaze minimalizovat celkový výrobní čas všech objednávek, a to jen přeskupením jejich pořadí. Jinými slovy, nalézt takovou kombinaci daných objednávek, která by byla vyrobena v nejkratším čase.

Tab. 1. Výrobní operace na produktech (viz obr. 1)			
Pořadí operace	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3
1.	svařování	vrtání	ohýbání
2.	vrtání	svařování	vrtání
3.	ohýbání	ohýbání	svařování
4.	očištění	očištění	očištění
5.	kontrola kvality	kontrola kvality	kontrola kvality

Tabulka 15: Sled výrobních operací na lince [54]

Pro redukci průběžné doby výroby je využita funkce “genetický algoritmus” (dále jen GA), jejíž konkrétní nastavení zadává hledání minima ze 7 generací o velikosti 7 následníků. Po dokončení provádění GA jsou dostupné výsledky, viz grafy na Obrázku 31. Je zřejmé, že nejlepší hodnoty (15404,35) bylo dosaženo ve druhé generaci pro individualitu 8 s chromozomem 1. Tento výsledek tj. kombinace objednávek, kterou představuje, je automaticky uložen do modelu jako nejlepší

nalezená možnost. Následným spuštěním simulace je zjištěno, že výrobní čas pro tuto kombinaci objednávek je 4 h 16 min. [54]



Obrázek 31: Výsledky genetického algoritmu – optimum bylo dosaženo v druhé generaci. [54]

8 PRŮMYSLOVÉ APLIKACE SIMULAČNÍHO PŘÍSTUPU ZA ÚČELEM REDUKCE PRŮBĚŽNÉ DOBY VÝROBY

Za účelem redukce průběžných dob byla vytvořena řada simulačních modelů, které byly aplikovány do průmyslových podniků. Některé z nich jsou zmíněny v kapitole 8. V kapitole 8.10 je popsána aplikace na generování mořících linek, která slouží k automatické tvorbě simulačních modelů tohoto typu výrobního systému. Vzhledem k tomu, že moderním trendem a požadavkem v průmyslu je i snižování energetické náročnosti výroby, je tato problematika zahrnuta do kapitoly 8.11, kde je na simulačním modelu zkoumán vliv rozložení strojů na energetickou náročnost transportního systému. V závěru kapitoly 8 je popsán postup přenosu dat mezi informačním systémem podniku a simulačním modelem.

8.1 SIMULACE PRŮMYSLOVÉ APLIKACE REDUKCE PRŮBĚŽNÉ DOBY PRO VÝROBU CHIRURGICKÝCH NÁSTROJŮ

Následující text popisuje praktický příklad aplikace metod na redukcii průběžné doby výroby.

Pro tento konkrétní výrobní systém bude simulační model vytvořen pomocí implementace algoritmů na redukcii délky front u zdrojů, redukcii průběžné výrobní doby na zpracování všech výrobních příkazů atd. Pro dosažení stanoveného cíle, redukcii průběžné doby výroby, budou použity následující kroky:

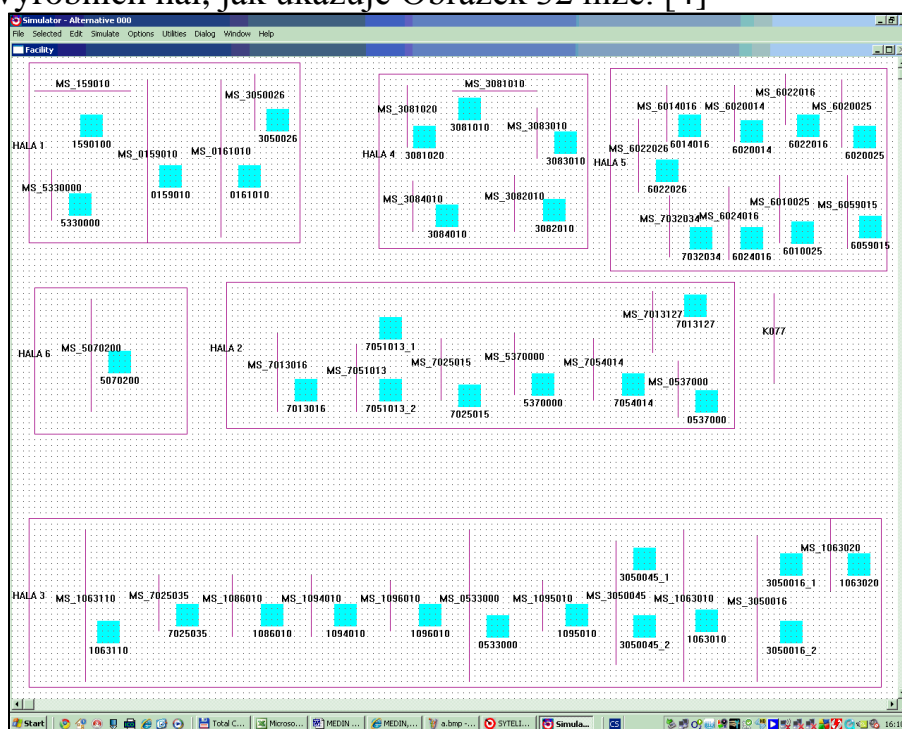
1. Vývoj simulačního modelu výrobního systému;
2. plánování (rozvrhování) a simulace výroby pro různé alternativy;
3. analýza úzkých míst výroby;
4. analýza Ganttových diagramů různých alternativ a posouzení dalších kapacitních omezení;
5. návrh, validace a verifikace různých alternativ;
6. zpracování doporučení pro manažery výroby.

Společnost si nepřeje být jmenována, proto je dále v textu zmiňována jako společnost "M".

8.1.1 Popis výrobního systému

Výrobní systém je primárně zaměřen na zpracování výrobků z titanu. Výrobky jsou využívány pro operace na poli humánní medicíny. Tento výrobní systém se skládá z šesti hal. Hlavní produkty, které jsou součástí simulačního modelu, mohou být rozděleny do tří skupin: Šrouby, dlahy a hřeby z titanu. Uvedené výrobky mají své technologické postupy. Jelikož se jedná o samostatné výrobky, kusovníky nejsou zahrnuty do modelu. Layout výrobního systému obsahuje všechny stroje, které jsou uvedeny v technologických postupech. Tento layout je schematický a neodpovídá reálnému rozmístění strojů, protože simulační model nebere na zřetel přepravu rozpracované výroby. Toto zjednodušení je zvoleno na základě dostupných dat, která

neobsahují informace o transportu materiálů a položek. Nicméně dopravní časy jsou zahrnuty do procesních časů, ale pouze jako průměrné hodnoty. Toto omezení ovlivňuje přesnost simulačního modelu. Layout obsahuje kromě strojů i meziklady ke každému stroji nebo skupině strojů. Stroje a meziklady jsou vloženy do jednotlivých výrobních hal, jak ukazuje Obrázek 32 níže. [4]



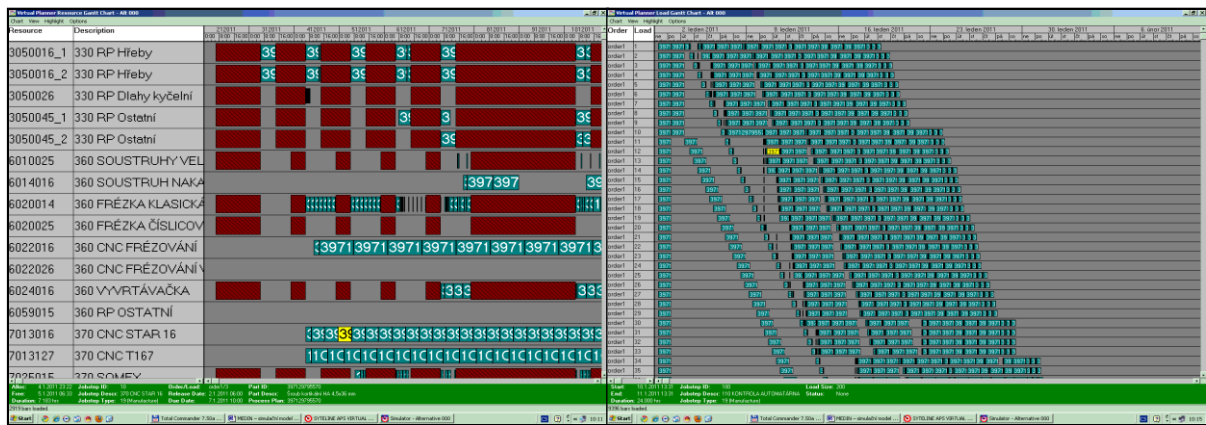
Obrázek 32: Layout simulačního modelu [4]

8.1.2 Verifikace a validace simulačního modelu

Proces verifikace zahrnuje ověření správnosti a funkčnosti simulačního modelu bez toho, aby byly výsledky porovnávány se skutečným výrobním systémem. V procesu verifikace jsou opraveny některé syntaktické a obsahové chyby.

Proces validace se provádí se zřetelem na vztah simulačního modelu k reálné výrobě. To ovšem neznamená, že se bude simulační model chovat přesně jako reálný výrobní systém a to z toho důvodu, že simulační model může modelovat budoucí změny ve výrobě, jiné algoritmy řízení výroby apod.

Verifikace a validace simulačního modelu je prováděna za využití Ganttových diagramů zdrojů a zakázek (viz Obrázek 33):



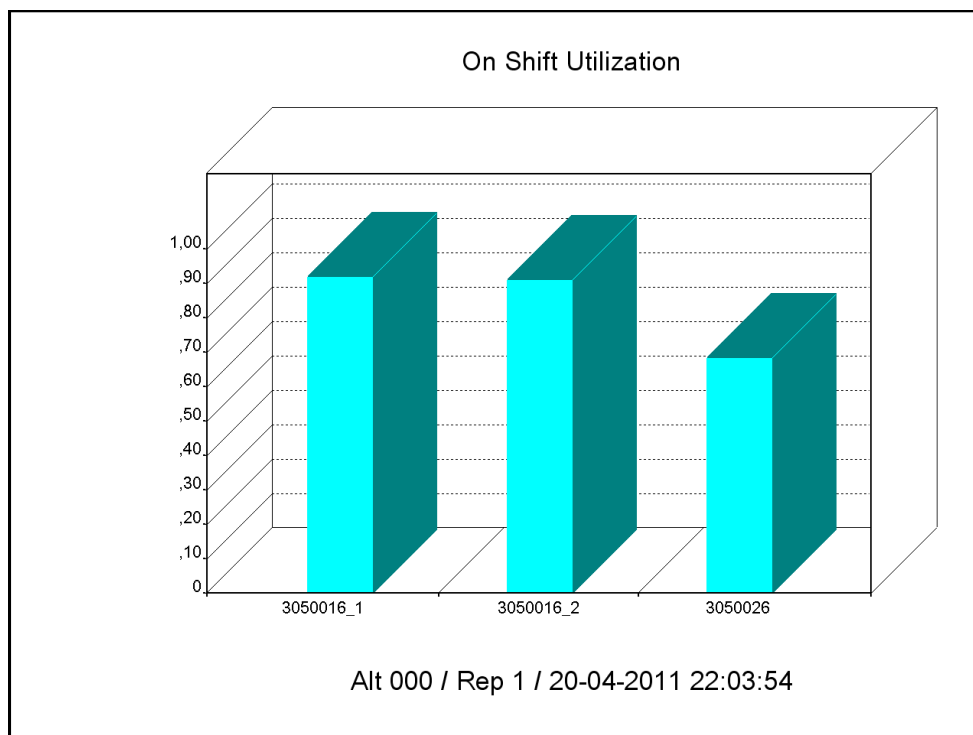
Obrázek 33: Ganttův diagram pro zdroje, Ganttův diagram pro zakázky

8.1.3 Analýza počátečního stavu výrobního systému

Následující kapitola popisuje počáteční stav výrobního systému a hodnocení výsledků jeho simulace, které budou získány z analýzy simulačního modelu za použití dvou analytických nástrojů typu APS: Virtual Planneru a Simplanu, jež jsou použity pro zpracování dizertační práce. Cílem je určit a optimalizovat úzká místa výroby. Pomocí APS systému byly vyhodnoceny následující výsledky:

- Celkový počet výrobků – 38520 ks.
- Výrobnost (Production rate) – 14.77 ks/hod.
- Průměrná průběžná doba zakázky – 1784.964 hod.
- Průměrný počet čekajících dávek – 96.682 ks.
- Průměrný počet dávek na zdrojích – 32.767 ks.

Graf na Obrázku 34 představuje jeden z výstupů použitých pro detekci úzkých míst výrobního systému. Z grafu lze rozpoznat, že úzkým místem je skupina strojů 3050016 a stroj 3050026, protože vykazují největší procentuální využití během pracovní směny.



Obrázek 34: Využití strojů během pracovní směny

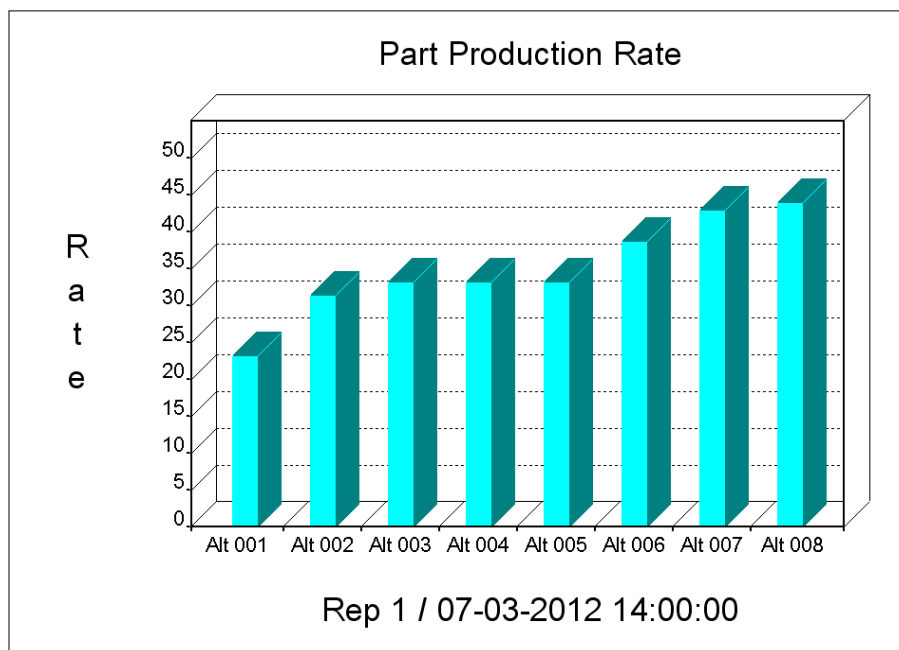
8.1.4 Návrh na řešení odstranění úzkých míst výroby

Následující text popisuje návrh na řešení odstranění úzkých míst ve výrobě včetně investičních nákladů a hodnocení alternativ. U simulačního modelu se nemění konfigurace výroby, ale postupně se navyšují kapacity přidáním pracovních směn a potom i přidáním zdrojů. Navyšování kapacit je prováděno podle vzniku úzkých míst ve výrobě. Cílem je zvyšování propustnosti výroby („Production Rate“). Alternativa 1 modeluje počáteční stav. V průběhu optimalizace výroby jsou za účelem odstranění úzkých míst a zvyšování výrobnosti rozpracovány varianty dle Tabulky 16.

Alternativa	Výrobnost (ks/hod)	Zvýšení výrobnosti oproti Alternativě 001 (%)	Změna/Investiční náklady na změny (mil. Kč)	Celkové investiční náklady na změny (mil. Kč)
1	22,995		3050016 – 4 operátoři	
2	31,085	35,18	3050016 – 4 operátoři 3050026 – 10 operátorů	
3	32,982	43,43	3050016 – 10 operátorů 3050026 – 10 operátorů	
4	32,982	43,43	3050016 – 10 operátorů 3050026 – 10 operátorů 3050045 – 10 operátorů	
5	32,923	43,18	Alt 4 + 6020014_1 – 3 pracovní směny	
6	38,442	67,18	Alt 4 + 6020014_1 – 3 pracovní směny 6020014 – 2 stroje (2 500 000 Kč) 7013127 – 2 stroje (5 000 000 Kč)	7 500 000 Kč
7	42,648	85,47	Alt006 + 6022016 - 2 stroje (3 000 000 Kč) 7025015 - 2 pracovní směny 7025035 - 2 stroje (2 000 000 Kč) 7032034 – 2 pracovní směny	12 500 000 Kč
8	43,71	90,09	Alt007 + 6022016 - 3 stroje (3 000 000 Kč) 7025015 - 3 pracovní směny 6020025 - 3 pracovní směny 7013016 - 2 stroje (4 500 000 Kč) 7051013 - 2 stroje (2 000 000 Kč)	22 000 000 Kč

Tabulka 16: Popis alternativ simulačního modelu

Graf na Obrázku 35 ukazuje nárůst výrobnosti zaváděním dalších změn. U alternativy číslo 8 došlo ke zvýšení výrobnosti o 90% oproti počáteční alternativě, tzn., že se vyprodukuje téměř dvakrát více výrobků.



Obrázek 35: Kusová výrobnost alternativ simulačního modelu

Jako náklady na změnu jsou zahrnuty jenom investiční náklady na pořízení nových zdrojů. Navýšení mzdových nákladů na pracovníky se neuvažuje, jelikož pracovníci potřební u nových alternativ budou přesunuti z jiných pracovišť.

8.1.5 Souhrn dosavadních výsledků

Po prosimulování různých alternativ rozvržení výroby je vyhodnocena nejlepší varianta a doporučena pro aplikaci na výrobní systém. Analýza úzkých míst výroby je prováděna podle procentuálního využití zdrojů, analýzy front vznikajících ve výrobě při dopředném plánování a analýzy Ganttových diagramů.

Při zpracovávání simulačního modelu je kladena za cíl redukce průběžné doby pomocí zvýšení výrobnosti (Production Rate) podniku. Z tohoto důvodu jsou použity dva přístupy, které na sebe navazují. U prvního přístupu se zvyšuje jen směnnost a počet operátorů, aniž by se přidávaly nové zdroje. U druhého přístupu se pro rozšíření kapacity úzkých míst přidaly nové stroje za cenu navýšení investičních nákladů.

Pro první přístup byly vygenerovány a porovnávány různé alternativy (0 až 5). Nejlepší výrobnost vykazuje alternativa 3 (19.356 ks/hod), přičemž ale dochází ke snížení využití klíčového zdroje 3050016. U alternativy č. 3 je dosažen nejkratší simulační čas na zpracování všech dávek a největší hodinová výrobnost (Production rate). Pro aplikaci do výrobního podniku byla doporučena alternativa číslo 3, tzn.

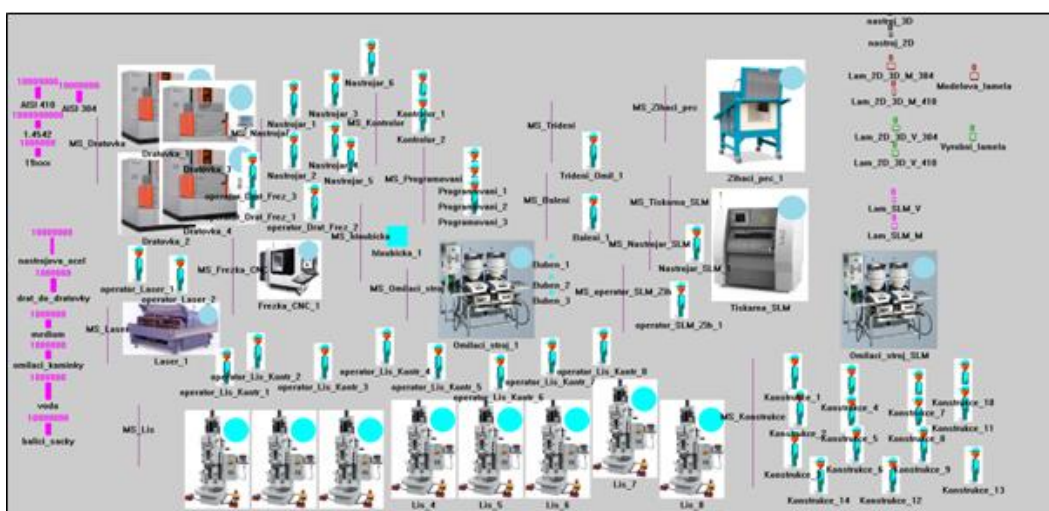
zavedení druhé a třetí směny pro zdroj 3050026 a zavedení třetí směny pro zdroj 6020025. Zvyšování kapacity je prováděno v celých směnách na základě požadavku managementu podniku.

U druhého přístupu jsou postupně navyšovány kapacity přidáním pracovních směn a potom i přidáním zdrojů. Bylo rozpracováno 8 alternativ. Navyšování kapacit se provádí podle vzniku úzkých míst ve výrobě. U každé z alternativ jsou uvedeny i investiční náklady. Rozhodnutí o vhodnosti alternativy jsou prováděny managementem podniku na základě forecastingu poptávky (požadavku výrobnosti) a investičních nákladů.

8.2 SIMULAČNÍ ANALÝZA VÝROBNÍHO SYSTÉMU LAMEL

8.2.1 Určení modelu

Simulační model je určen pro posouzení výkonových charakteristik systému pro výrobu lamel. Na Obrázku 36 je uvedeno schéma rozložení strojů a zařízení výrobního systému lamel. Obrázek obsahuje ikony strojů a operátorů, které nejsou v měřítku. Nejedná se o geometrický návrh výrobního systému, ale jenom o pomůcku pro animaci. Toto schéma (layout) nemá vliv na výstupy simulačního modelu, protože během simulace nejsou uvažovány transportní operace. Časy přesunu dávek mezi jednotlivými zdroji jsou v porovnání s délkou výrobních operací zanedbatelné. Layout výrobního systému obsahuje všechny stroje, které jsou uvedené v technologických postupech. Tento layout je schematický a neodpovídá reálnému rozmístění strojů, protože simulační model nebere na zřetel dopravu rozpracované výroby. Toto zjednodušení je zvoleno na základě dostupných dat, které neobsahují informace o transportu materiálů a položek. Layout obsahuje kromě strojů i mezisklady ke každému stroji nebo skupině strojů.



Obrázek 36: Layout výrobního systému lamel

8.2.2 Metodika práce

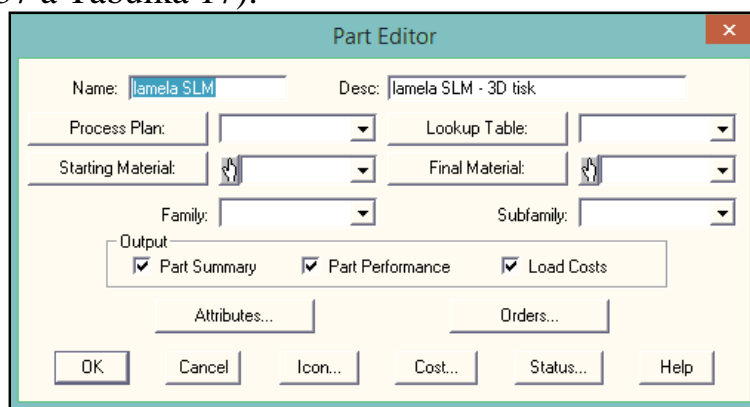
Pro řešení uvedené problematiky byla použita technologie simulačního modelování spočívající v přípravě simulačních modelů a provádění simulačních experimentů. Jsou rozpracované rozmanité alternativy základních simulačních modelů, na kterých je zkoumána vhodnost řešení. Základní alternativa představuje simulační model základního stavu, na který navazují další alternativy simulačního modelu. Tyto alternativy odrážejí změny ve výrobním systému, které by měly vést k jeho optimalizaci. Výsledky z jednotlivých alternativ jsou porovnávány a analyzovány. Analýza je prováděna komplexně podle množiny výstupních parametrů.

- Pro objektivnost posouzení různých alternativ je vždy použita stejná množina výrobních příkazů (zakázek). To znamená, že zatížení výrobního systému je stejné.
- Definice optimalizačních alternativ a jejich hodnocení je prováděno v úzké spolupráci s manažery firmy.
- Simulační model je vytvořen dle vstupních dat, která poskytl zadavatel simulačního modelu.

8.2.3 Popis simulačního modelu

Layout výrobního systému obsahuje všechny stroje, které jsou uvedené v technologických postupech. Layout obsahuje kromě strojů i mezisklady ke každému stroji nebo skupině strojů. V simulačním modelu jsou nadefinovány následující komponenty:

- **Výrobky** – jsou definované za použití modelovací komponenty „Part“ (viz Obrázek 37 a Tabulka 17):

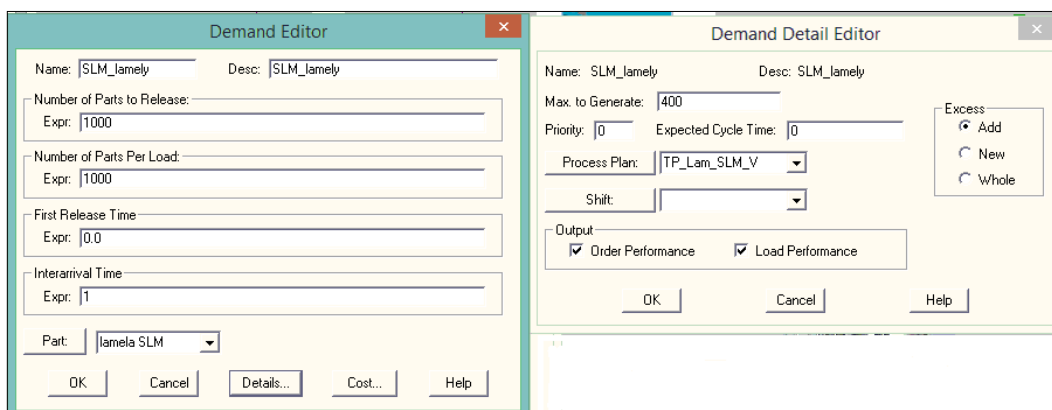


Obrázek 37: Editor výrobku “lamela SLM”

Alternative: 001- SLM 25%	
<u>Part</u>	<u>Description</u>
lamela SLM	lamela SLM - 3D tisk
lamela_modelova	lamela modelová
lamela_vyrobní	lamela výrobní včetně všech otvorů+prolisů

Tabulka 17: Popis výrobků systému

- **Zakázky** (výrobní příkazy) – jsou definované za použití modelovací komponenty „Demand“ (viz Obrázek 38), která cyklicky uvolňuje výrobní příkazy do výrobního systému. Je definován počet uvolněných výrobních příkazů, velikost dávky, frekvence uvolňování, priorita a technologický postup pro výrobek (viz Tabulka 18).

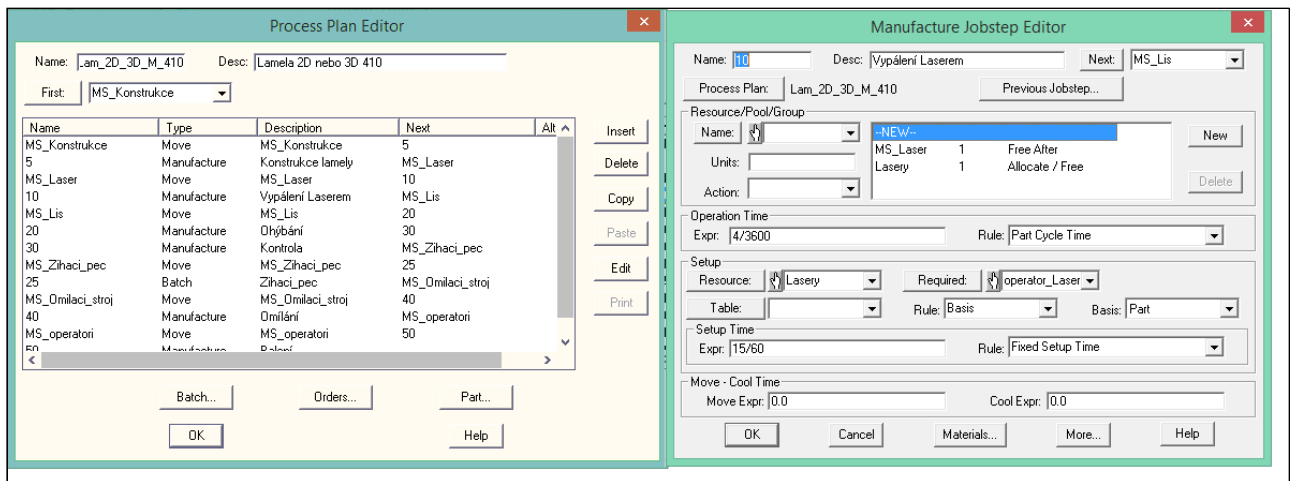


Obrázek 38: Editor zakázky “SLM lamely”

Project: 603_1										
Completion Date: 17-01-2017 09:05:00										
Alternative: 001 - SLM 25%										
Demand	Part	Process Plan	Parts to Release	Parts per Load	First Release Time	Interarrival Time	Excess	Expected Cycle Time	Max to Generate	Priority
Cat_1_MODEL_304	lamela_modelova	Lam_2D_3D_M_304	304	304	0	30	Add	0	1	1
Cat_1_MODEL_410	lamela_modelova	Lam_2D_3D_M_410	304	304	0	30	Add	0	1	1
Cat_1_VYR_304	lamela_vyrobní	Lam_2D_3D_V_304	331	331	0	1	Add	0	77	1
Cat_1_VYR_410	lamela_vyrobní	Lam_2D_3D_V_410	331	331	0	1	Add	0	77	1
Cat_1_VYR_M_304	lamela_vyrobní	Lam_2D_3D_V_304	331	331	0	30	Add	0	1	1

Tabulka 18: Ukázka definice zakázek

- **Technologické postupy** – jsou modelovány za použití modelovací komponenty „Process Plan“ (viz Obrázek 39). Procesní plán je sestaven z jednotlivých procesních kroků (modelovací komponenta Manufacturing Jobstep), tak jak jsou definované v technologickém postupu.



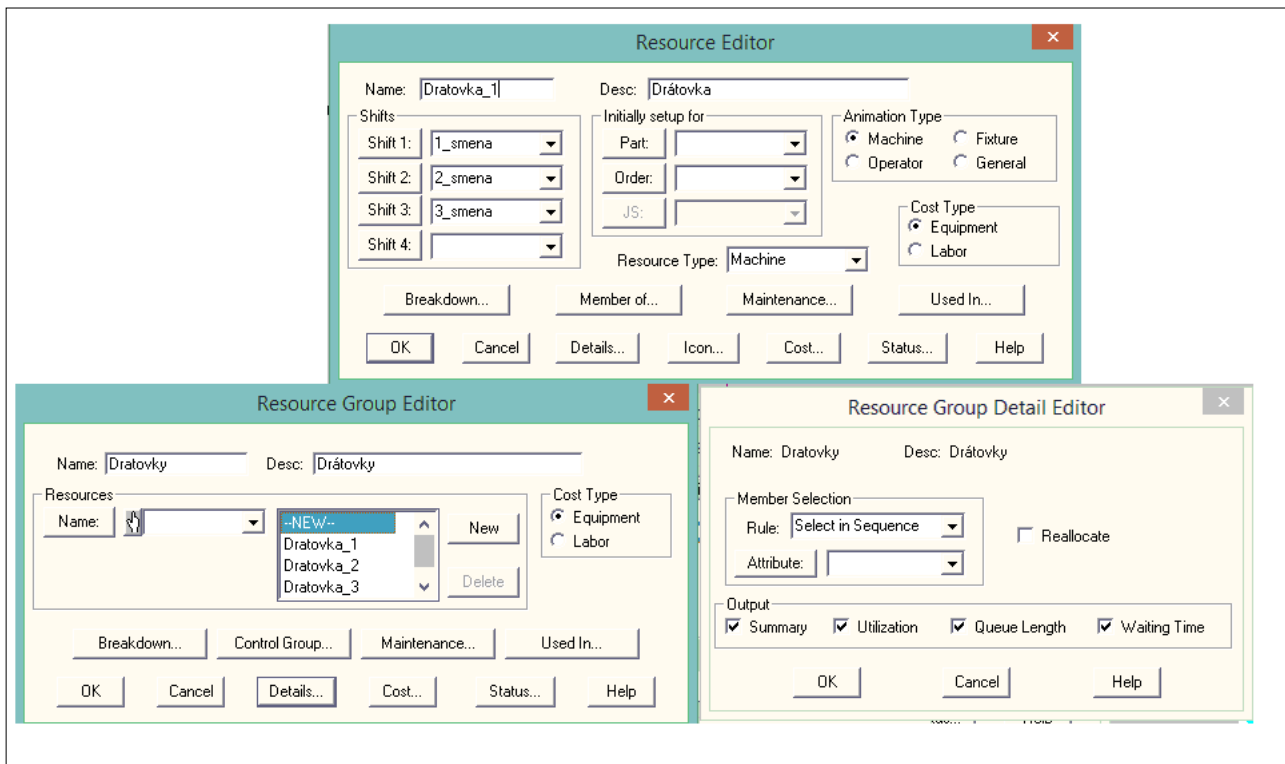
Obrázek 39: Editor technologického postupu a procesních kroků

Definice seřízení (Setup) vyžaduje určení seřizovacího času (Tbc), zdroj, který se seřizuje a algoritmus přeseřízení. Na uvedeném procesním kroku je seřizovací čas 15 minut, seřizuje se zdroj ze skupiny „Lasery“ a přeseřízení se provádí jenom, když se mění typ výrobku (Part). Tím se docílí minimálního času na přeseřízení, protože výrobní dávky jednoho výrobního příkazu se zpracovávají po sobě, bez přerušení.

Dále je definován procesní čas (Tac), a to jako kusový čas (Part Cycle Time) nebo dávkový čas (Total Jobstep Time), a zdroj, na kterém proces probíhá. Samozřejmě je to stejný zdroj, který se nejdříve seřizoval. Jak již bylo uvedeno, časy přesunu i dodatečného zdržení (Move/Cool time) nejsou definované.

- **Zdroje a skupiny zdrojů** - Pro definici jsou použity modelovací komponenty „Resource“ a „Resource Group“ (viz Obrázek 40). Zdroje jsou sdružovány do skupin podle typu výrobní operace, kterou provádějí. Výběr zdrojů ze skupiny se provádí podle algoritmu „Select in Sequence“ podle seznamu zdrojů ve skupině.

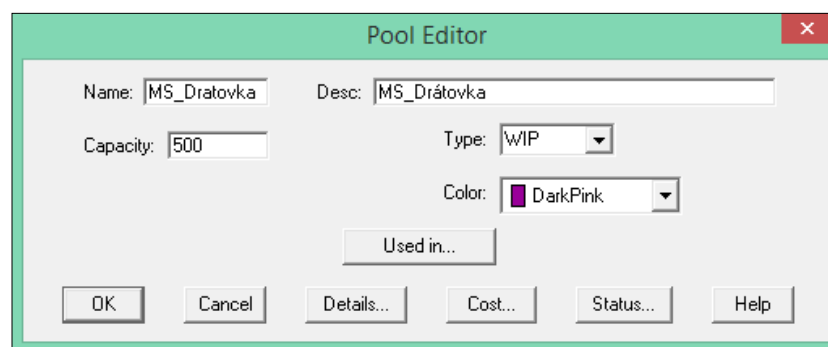
Na začátku simulace nejsou stroje seřizeny, takže první operace vyžaduje seřizovací zdržení. Poruchy strojů, pravidelné odstávky a podobná zdržení nejsou definovány v zadání a nejsou uvažovány.



Obrázek 40: Definice zdroje “Dratovka_1” a skupiny zdrojů “Dratovky”

Maximální dostupná kapacita zdroje je omezena použitím pracovních směn (Shift). Jsou uvažovány standardní pracovní směny, u kterých je faktor navýšení nákladů nastaven na 1 (nedochází k navyšování nákladů vlivem přesčasů apod.)

- **Mezisklady** – pro animaci fronty dávek u zdrojů nebo u skupin zdrojů jsou definovány mezisklady za použití modelovací komponenty „Pool“ (viz Obrázek 41). Po ukončení předcházející operace je dávka umístěna do meziskladu pro zdroj (nebo skupinu zdrojů) následující operace. Pokud je zdroj dostupný, dávka ho alokuje a čas zdržení v meziskladu je nulový. V případě, že zdroj není volný, čeká dávka v meziskladu na uvolnění zdroje.



Obrázek 41: Editor meziskladu “MS_Dratovka”

- **Nastavení simulačního prostředí** - Délka simulovaného období je nastavena tak, aby byly všechny dávky zpracovány (viz Obrázek 42). Vstup

zakázek do simulované výroby je podle algoritmu „Low priority“. Fronty dávek jsou řízeny algoritmem „FIFO“.

Obrázek 42: Nastavení simulačního běhu

8.2.4 Verifikace a validace simulačního běhu

Proces verifikace zahrnuje ověření správnosti a funkčnosti simulačního modelu bez toho, aby byly výsledky porovnávány se skutečným výrobním systémem. V procesu verifikace byly opraveny některé syntaktické a obsahové chyby.

Proces validace se provádí se zřetelem na vztah simulačního modelu k reálné výrobě. To ovšem neznamená, že se bude simulační model chovat přesně jako reálný výrobní systém a to z toho důvodu, že simulační model může modelovat budoucí změny ve výrobě, jiné algoritmy řízení výroby apod. Verifikace a validace simulačního modelu se prováděla za využití Ganttových diagramů zdrojů a zakázek.

U všech alternativ jsou sledovány následující výstupní parametry:

- Počet zpracovaných výrobních příkazů za simulované období;
- výrobnost (Production Rate) – počet hotových výrobků za hodinu;
- procentuální vytížení zdrojů;
- Ganttovy diagramy;
- nákladovost podle metodiky ABC (Activity Base Costing) není uvažována;
- dle potřeby jsou používány další výstupy ze Simplanu.

8.2.5 Zobecněný postup při analýze úzkých míst

Během hledání úzkých míst výroby je použit následující postup:

1. **Vyhledat úzká místa podle procentuálního využití** (Vytížení zdrojů, viz Tabulka 19):

Vzhledem k tomu, že se jedná o statistiku a vzhledem k tomu, že počet výrobních příkazů může být omezen, pak tento výstup může být zavádějící.

Zdroj ukončí zpracování dávek (během zpracování byl využit i na 100%), ale další zdroje pokračují ve zpracování dávek. Pro výpočet využití se ale použije celkový čas v pracovní době do ukončení simulace, i když zdroj už nepracuje.

<u>Group</u>	<u>Resource</u>	<u>Scheduled On Shift</u>	<u>Overtime</u>	<u>On Shift Busy</u>
Dratovky	Dratovka_1	0.712	0.000	0.918
	Dratovka_2	0.712	0.000	0.912
	Dratovka_3	0.712	0.000	0.915
	Dratovka_4	0.712	0.000	0.909
Konstrukce	Konstrukce_1	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_10	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_2	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_3	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_4	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_5	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_6	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_7	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_8	0.238	0.000	0.909
	Konstrukce_9	0.238	0.000	0.909
Konstrukce_SLM	Konstrukce_11	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_12	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_13	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_14	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_15	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_16	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_17	0.238	0.000	0.918
	Konstrukce_18	0.238	0.000	0.918
Kontrolor	Kontrolor_1	0.238	0.000	0.910
	Kontrolor_2	0.238	0.000	0.890

Tabulka 19: Skupiny zdrojů vykazující vysoké využití (On Shift Busy)

2. Porovnávání parametrů „Production Rate“ u různých alternativ
3. Jsou porovnávány Ganttovy diagramy různých alternativ a na základě tohoto porovnání jsou posuzována další kapacitní omezení
4. Porovnání délek front u zdrojů, které se provádí za využití textových a grafických výstupů
5. Analýza důvodů zdržení výrobního příkazu (Na co zakázka čeká?)

8.2.6 Analýza a optimalizace výrobního systému z hlediska využití zdrojů

Při analýze se vychází z tabulky využití zdrojů ze základní alternativy „001_SLM 25%“. Cílem optimalizace je redukovat zdroje vykazující nízké využití. Po každé redukci zdrojů je vytvořena a prosimulována nová alternativa. Výsledky nové alternativy jsou porovnávány s výsledky z počáteční alternativy „001_SLM 25%“. Především se porovnává výkonnost výrobního systému definovaná parametrem „Production Rate“ (počet vyrobených produktů za hodinu). Dále je sledován termín dokončení výroby v simulačním modelu, který nesmí překročit termín ze základní alternativy „001_SLM 25%“. Název nové alternativy se skládá z čísla předcházející alternativy a popisu změny. Například: alternativa 003 s názvem „002 a 2 operatory v operator_Drat_Frez“ znamená, že jako základ je použita alternativa 002 a je pozměněn počet operátorů ve skupině "operator_Drat_Frez" na 2 operátory.

Optimalizace je prováděna na základě tabulky využití zdrojů podle parametru „On Shift Busy“ z počáteční alternativy „001_SLM 25%“.

8.2.7 Výsledky analýzy výrobního systému z hlediska využití zdrojů

Z analýzy výstupů výrobního systému vyplývá, že některé zdroje a skupiny zdrojů vykazují velmi nízké využití. Pokud je pro technologii nutný jenom 1 stroj, nelze provádět redukci. Jako například u skupiny hloubička, která vykazuje velmi nízké využití 1,7 %. Další výstupy analýzy z hlediska využití zdrojů shrnuje Tabulka 20.

Název skupiny	Zdroje skupiny	Průměrné vytížení zdroje	Optimalizační řešení
Nastrojar	Nastrojar_1	0.409	Viz a)
	Nastrojar_2	0.160	
operator_Drat_Frez	operator_Drat_Frez_1	0.015	Viz b)
	operator_Drat_Frez_2	0.013	
	operator_Drat_Frez_3	0.015	
operator_Laser	operator_Laser_1	0.041	Viz c)
	operator_Laser_2	0.028	
Programovani	Programovani_1	0.551	Viz d)
	Programovani_2	0.551	
	Programovani_3	0.367	
Tiskarna_SLM	Tiskarna_SLM_1	0.585	Viz e)
	Tiskarna_SLM_2	0.393	
	Tiskarna_SLM_3	0.393	

	Tiskarna_SLM_4	0.200	
--	----------------	-------	--

Tabulka 20: Výsledky analýzy výrobního systému z hlediska využití zdrojů

- a) **Je odstaven** „Nastrojar_2“, vytvořena nová alternativ 002 s názvem „001 a 1 nastrojar“ a provedena simulace. „Production Rate“ se nezměnil (408.206 ks/hod) oproti základní alternativě. Ale jelikož v simulačním modelu jsou u nástrojáře nastaveny 2 pracovní směny, pak fyzicky budou zapotřebí **2 lidé**.
- b) Byl snížen počet operátorů ve skupině „operator_Drat_Frez“ na 2 operátory a vytvořena nová **alternativa 003** s názvem „002 a 2 operatory v "operator_Drat_Frez". Oproti předcházejícím alternativám se výkonnost výrobního systému (Production Rate) nepatrně změnila. Jelikož se výkonnost výroby nepatrně změnila, byl dále snížen počet operátorů ve skupině „operator_Drat_Frez“ na 1 operátora a vytvořena nová **alternativa 004** s názvem „002 a 1 operator v "operator_Drat_Frez". „Production Rate“ se nezměnil a 1 operátor ze skupiny „operator_Drat_Frez“ je postačující.
- c) Byla vytvořena nová alternativa 005. Jako základ je vzata alternativa 004 a je redukován počet operátorů ve skupině „operator_Laser“ na 1 operátora. „Production Rate“ se snížil na 379.239 a termín komplexního dokončení výroby se prodloužil do 15. 2. 2016. Alternativa je **nevhodná**.
- d) Třetí pracovník ze skupiny „Programovani“ má nízké využití. Je vytvořena nová alternativa 006. Jako základ je vzata alternativa 004 a je redukován počet operátorů ve skupině „Programovani“ na 2 operátory. Po odsimulování se zvýšilo využití těchto dvou operátorů z 55.1 % na 73.4 %. **Alternativa 006 vyhovuje**.
- e) Je vytvořena nová alternativa 007. Jako základ je vzata alternativa 006 a je redukován počet tiskáren ve skupině „Tiskarna_SLM“ na 3 tiskárny. Production Rate se nezměnil, pouze se zvýšilo zatížení tiskárny „Tiskarna_SLM_2“. Dále je vytvořena nová alternativa 008. Jako základ je vzata alternativa 007 a je redukován počet tiskáren ve skupině „Tiskarna_SLM“ na 2 tiskárny. Production Rate se nezměnil, zvýšilo se zatížení tiskáren „Tiskarna_SLM_1“ a „Tiskarna_SLM_2“.

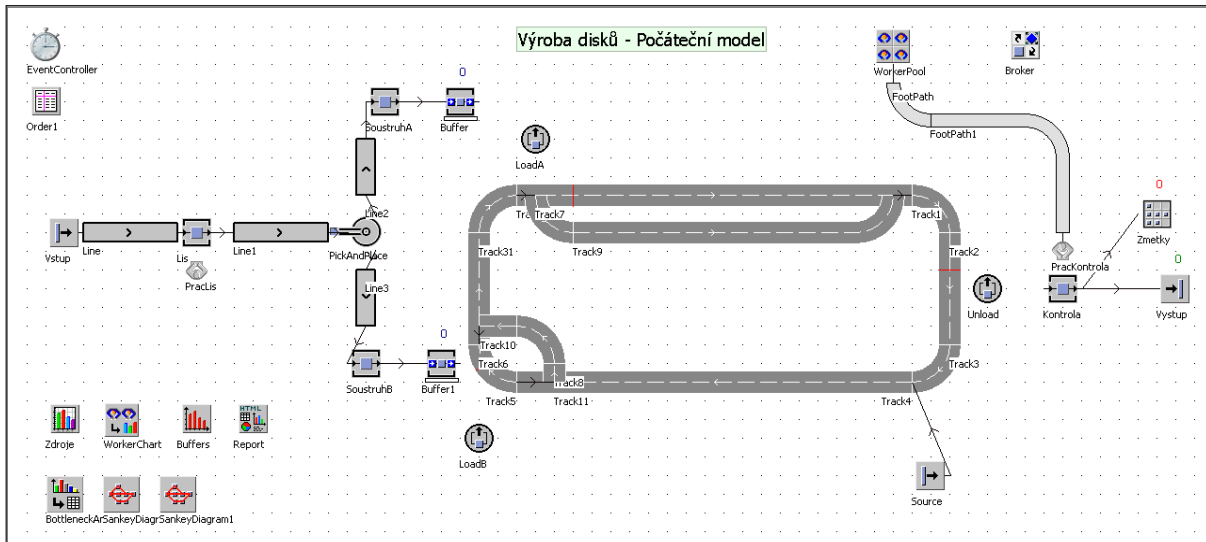
8.3 SIMULAČNÍ MODEL TRANSPORTU DISKŮ

Následující případová studie se zabývá problematikou zvýšení výrobnosti dopravníkového systému. Je vytvořeno a porovnáváno několik variant (alternativ) modelu za účelem výběru nejlepšího technického řešení.

8.3.1 Popis výrobního systému

Výroba se skládá ze sekce lisování, dále sekce soustružení, následuje transport na dopravníku s vozíky a poslední sekcí je kontrola kvality a expedice. V první části se polotovary přepravují pomocí linek, nejdříve na lis. Produkty pokračují na soustruhu. První typ disku se opracovává na soustruhu A, druhý typ na soustruhu B. Materiálový

tok navazuje na sklad rozpracované výroby, ze kterého se osoustružené disky naloží do dvou přepravních jednotek a jsou transportovány po dopravníku k sekci kontroly jakosti a expedice. Kapacita každé dopravní jednotky je 12 disků. Pak jsou disky vizuálně zkontrolovány, vadné výrobky jsou uloženy do skladu zmetků a kvalitní kusy jsou expedovány. Nižší uvedený Obrázek 43 ukazuje rozložení výrobního systému.

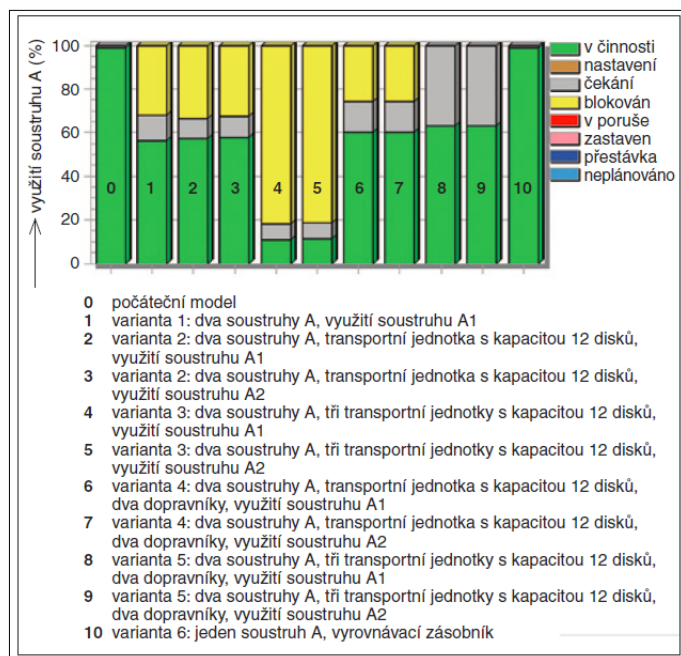


Obrázek 43: Schéma výrobního systému na výrobu disků – počáteční model

8.3.2 Alternativy simulačního modelu

Následně bylo vytvořeno několik alternativ simulačního modelu, na kterých je testováno zvýšení výrobnosti. Každá alternativa obsahuje změny oproti počátečnímu modelu, které mají k zadanému cíli přispět. Nižší jsou popsány jednotlivé alternativy modelu.

V alternativě 1 je přidán další soustruh A, tedy soustruh pro opracování disků typu A. Cílem tohoto zásahu do struktury výrobního systému bylo optimalizovat využití soustruhu A, jež je využit téměř na 100% (viz Obrázek 44). Na základě výsledků byl tedy definován jako úzké místo výrobního systému.



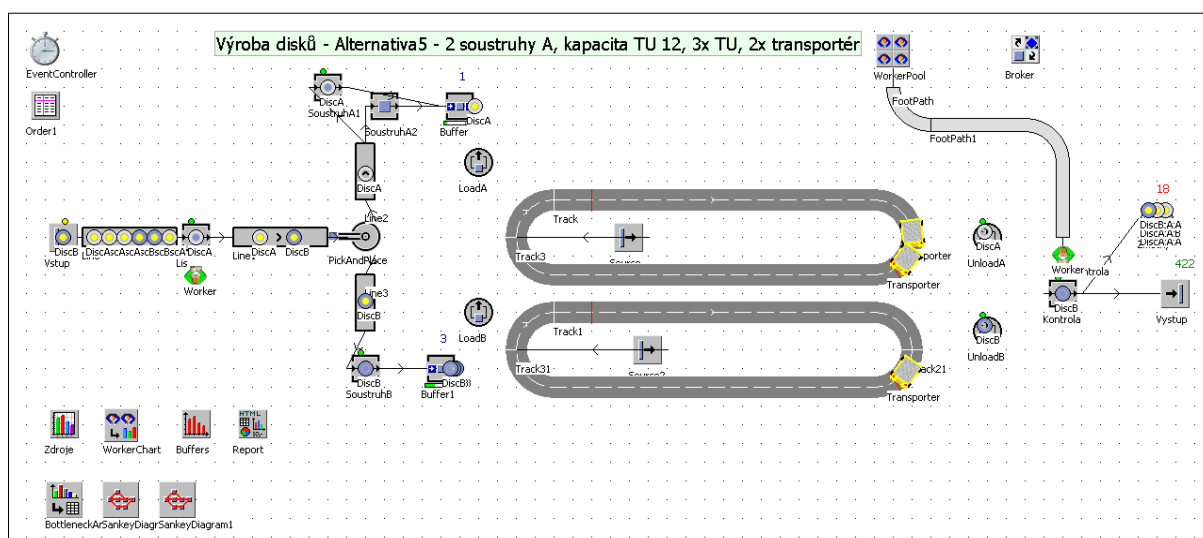
Obrázek 44: Procentuální využití soustruhu A v jednotlivých alternativách

Na alternativě číslo 2 bylo zkoumáno zvýšení kapacity transportní jednotky na 12 kusů. Tato změna byla posléze implementována na všechny alternativy, proto jí dále v textu nebude věnována pozornost.

V alternativě číslo 3 byl přidán třetí vozíček na transportní systém. Bylo zjištěno, že transportní systém, s aktuálně zadanými parametry transportu, není schopen zajistit plynulost výroby se třemi transportními jednotkami.

Dále bylo experimentováno se způsobem řešení transportu mezi sekci obrábění a sekci kontroly a expedice v alternativě č. 4. Stávající systém transportu je nahrazen dvěma na sobě nezávislými dopravníky (viz Obrázek 45), kdy každý disponuje 1 transportní jednotkou a každý převáží jiný typ disku. Ve způsobu řešení transportu byl nalezen potenciál pro zvýšení výrobnosti systému.

V alternativě č. 5 byla oproti alternativě č. 4 přidána na první dopravník (převáží disky typu A) další transportní jednotka.



Obrázek 45: Layout zobrazující řešení transportu v alternativě číslo 5

8.3.3 Výstupy alternativ simulačního modelu

Pomocí simulace výrobního systému pro tvorbu automobilových disků bylo zjištěno, že aktuální výrobnost systému je 323 disků za simulované období 10 hodin. Ovšem využití soustruhu A pro obrábění disků typu A dosahuje téměř 100% a před tímto soustruhem se rovněž tvoří fronta polotovarů. Proto byl soustruh A shledán úzkým místem.

V alternativě č. 1 byl proto přidán další soustruh A. Díky této změně bylo úspěšně odstraněno úzké místo výrobního systému. Výrobnost se zvýšila na 381 kusů za 10 hodin.

Jak již bylo zmíněno, změny implementované na alternativu č. 2 byly promítnuty do ostatních alternativ, proto jsou i výsledky této alternativy nepodstatné. V alternativě číslo 3 bylo experimentováno s transportním systémem přidáním transportní jednotky. Jak již bylo zmíněno, transportní systém s aktuálně zadanými parametry transportu není schopen zajistit plynulost výroby se třemi transportními jednotkami. Z tohoto důvodu nejsou brány výsledky simulace této alternativy v potaz. Jako účinná změna se projevilo rozdělení dosavadního transportního systému na 2 dopravníky. To je implementováno v alternativách číslo 4 a číslo 5. Alternativa číslo 5 obsahuje navíc 1 transportní jednotku na první dopravník (převážející disky typu A). Výrobnost alternativy číslo 4 je 398 disků za 10 hodin. Výrobnost alternativy č. 5 vzrostla oproti předchozím alternativám na 422 disků za 10 hodin. Na Obrázku 46 je tabulka, která znázorňuje výrobnost ("Total throughput") v jednotlivých alternativách, a to vždy pro počet vyrobených disků A a počet disků B. Řádek 1 a 2 náleží k modelu počátečnímu, řádek 3 a 4 k alternativě 1, řádek 5 a 6 k alternativě 2, řádek 7 k alternativě 3, řádek 8 a 9 k alternativě 4 a řádek 10 a 11 k alternativě 5. Sloupec "%Parts" zobrazuje procentuelní podíl výrobnosti typu disků. Následující 4 sloupce ukazují hodnotu životnosti (LT-Life Time) všech zkoumaných typů produktů a to průměrnou (Mean), standardní odchylku (StdDev), minimální (Min) a maximální (Max).

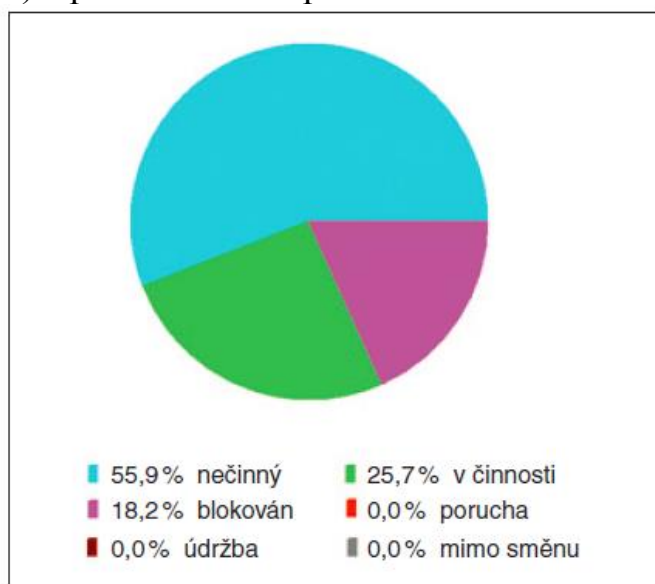
	Type	Total through	%Parts	LT_Mean	LT_StdDev	LT_Min	LT_Max
1	DiscA	198	61.11	1:04:16.1752	10:33.0389	36:34.2932	1:26:33.6112
2	DiscB	126	38.89	1:04:35.2624	12:31.8484	43:50.6112	1:26:00.6112
3	DiscA	232	60.89	1:02:28.9054	10:10.9303	30:05.0932	1:20:26.0987
4	DiscB	149	39.11	58:04.3087	10:37.4464	31:03.6596	1:17:47.3808
5	DiscA	232	60.89	1:02:28.9054	10:10.9303	30:05.0932	1:20:26.0987
6	DiscB	149	39.11	58:04.3087	10:37.4464	31:03.6596	1:17:47.3808
7	DiscA	35	100.00	39:35.2646	5:39.9467	30:03.0932	51:03.0932
8	DiscA	235	59.05	59:29.3659	11:20.8958	30:02.0932	1:19:03.4471
9	DiscB	163	40.95	53:28.2061	10:14.6772	30:47.0932	1:13:43.4471
10	DiscA	252	59.57	42:15.9929	6:24.5896	30:02.0932	55:22.8112
11	DiscB	171	40.43	50:04.9252	9:55.8168	30:47.0932	1:09:42.8112

Obrázek 46: Výrobnost v jednotlivých alternativách

Jak je vidět z tabulky, nejvyšší výrobnosti bylo dosaženo v alternativě číslo 5. [1]

8.4 SIMULAČNÍ MODEL TRANSPORTU POLOTOVARŮ NA MOŘÍCÍ LINCE

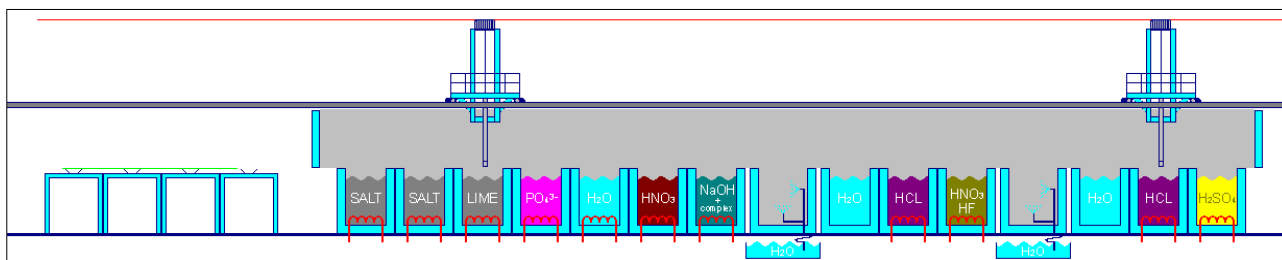
Na simulačním modelu mořící linky lze zkoumat mnoho vstupních parametrů ve více variantách simulačního modelu. Ve výsledku jsou nalezeny optimální parametry mořící linky. Cílem tvorby modelu mořící linky může být například optimalizace transportních časů, hledání vhodného převěšovacího místa, optimalizace využití zdrojů (viz Obrázek 47) a parametrů transportu atd.



Obrázek 47: Využití jeřábu mořící linky

Mořící linka na Obrázku 48 je transformována do simulačního modelu, to znamená, že je vytvořena co nejpřesnější počítačová reprezentace linky se všemi komponentami a vazbami. Do modelu jsou zaneseny mořící vany, transportní systém

s jeřáby, vstupní a výstupní dopravník a další nezbytné prvky. Tyto prvky jsou také propojeny logickými vazbami a vztahy, jako v reálném výrobním systému.



Obrázek 48: Model mořící linky s jeřáby a vanami

Jedním z takových vstupů jsou receptury, podle kterých jsou polotovary zpracovávány. Každý polotovar může mít svou vlastní recepturu. Příslušnost polotovaru k receptuře se potom vyhledává pomocí primárního klíče v matici receptur (viz Tabulka 21). Cílem simulace je v tomto případě nasimulovat mořící linku, do které vstupují různé polotovary s různými recepturami. Simulační model je vytvořen pro různou strukturu mořících plánů.

Kód oceli	Matice receptur								
	XC65	WH17	SK34	SK71	TR25	XC63	AW88	VS01	FA91
Receptura									
21			X	X					
22						X			
23							X		
24	X								
25					X				
26									
27								X	
28									
29		X							
30									X
31				X					
32					X				

Tabulka 21: Matice receptur a polotovarů

Dalším vstupem je kapacita mořící linky za hodinu. Po prosimulování namodelované linky je zjištěna dosažitelná výrobnost (tzn. kapacita mořící linky za hodinu) pro mix různých mořících plánů.

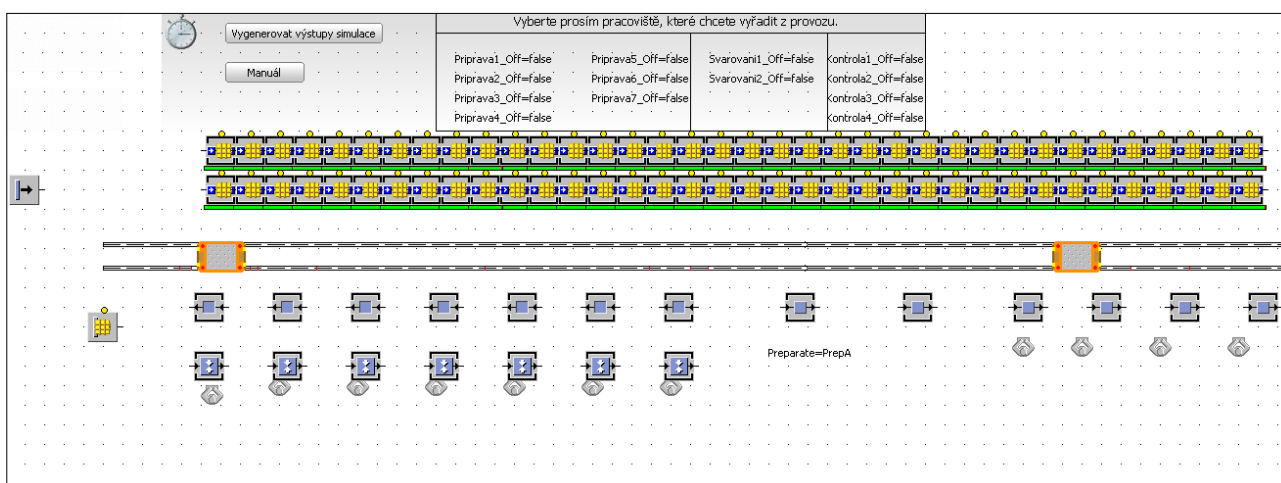
Výstupem není jen samotný simulační model a měřitelné výsledky, ale i výrobní protokol pro polotovar. Ten je uložen v databázi a je zpětně dohledatelný pro další použití. Model je možné propojit i na úroveň plánování výroby a řízení zakázek. [1]

8.5 SIMULAČNÍ MODEL VÝROBNÍHO SYSTÉMU S MANIPULÁTORY A MEZISKLADEM

Při návrhu výrobního systému se skladem (zásobníkem) je důležité vyhodnotit některá kritéria, která musí být dodržena, aby systém splňoval požadavky na výrobnost systému (počet výrobků za jednotku času), počet manipulačních prostředků, počet pracovišť, optimální procesní časy, nároky na lidské zdroje, optimální velikosti skladu, optimální velikosti výrobní dávky, využití zdrojů (stroje, zařízení, pracoviště apod.) a mnohé další. Pomocí počítačové simulace výrobního systému se skladem je možné bezpečně zkoumat různé alternativy vstupních parametrů tak, aby bylo dosaženo optimálních výstupů. V následujícím textu je popsána aplikace simulačního přístupu za účelem sestavení několika variant modelu, jejichž výstupy jsou následně analyzovány a jsou vybrány optimální vstupní parametry.

8.5.1 Popis výrobního systému

Layout simulačního modelu (viz Obrázek 49) skladu obsahuje 3 skupiny pracovišť. Skupina 1 se skládá ze 7 pracovišť, z nichž každé disponuje jedním pomocným pracovištěm s operátorem. Na této skupině se na paletu, která je dopravena jedním z manipulátorů ze skladu, umístí polotovar a je opracován. Po dokončení operace na skupině 1 je polotovar s paletou převezen na skupinu 2, která sestává z 2 strojů. Zde je polotovar zpracován na jednom z automatizovaných stanovišť a je přepraven na skupinu 3, obsahující 4 pracoviště, kde je provedena vizuální kontrola výrobku. Poté je prázdná paleta umístěna zpět do skladu k dalšímu použití. Pokud je skupina pracovišť, na kterou má být polotovar převezen obsazena, manipulátor jej umístí do skladu. Jakmile je pracoviště pro následující operaci volné, je paleta s polotovarem přesunuta na operaci, která byla pozdržena. Manipulátor vybírá a umísťuje vždy na pozici skladu, která je nejbližší, aby se snížily transportní časy na minimum. Sklad sestává z dvou pater, každé s 36 buňkami. Sklad slouží zároveň jako vyrovnávací zásobník pro odložení polotovaru mezi výrobními operacemi z důvodu vytížení následujících pracovišť.



Obrázek 49: Layout výrobního systému – počáteční stav

8.5.2 Návrh simulačního modelu

Podle zadaných vstupních parametrů je nejdříve sestaven layout simulačního modelu. Mezi vstupní parametry simulačního modelu skladu patří:

- Rozměry a kapacita skladu;
- rozmístění a procesní časy pracovišť;
- počet manipulátorů, rychlost pojezdu a zdvihu manipulátorů atd.

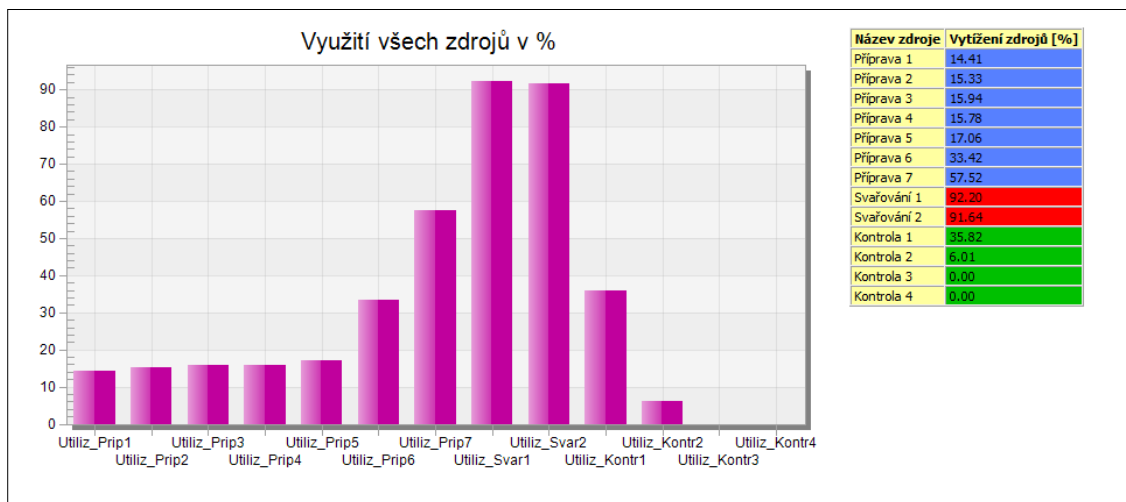
Na základě definovaného procesního toku a řídicí logiky je namodelováno chování výrobního systému. Po verifikaci a validaci modelu je možné provést simulační běh a vygenerovat výstupy, jako například:

- Výrobnost systému;
- celková produkce systému;
- využití jednotlivých pracovišť;
- vytížení transportních jednotek atd.

Po vyhodnocení výsledků simulace základního modelu vyvstává několik otázek: Je kapacita skladu dostatečná? Přinese navýšení kapacity skladu nějaký užitek? Je optimální vytížení zdrojů? Co když se změní počet pracovišť? Jaký vliv bude mít změna procesních časů na výrobnost systému? Odpověď na položené otázky můžeme najít v alternativách modelu.

8.5.3 Výsledky simulace základní alternativy

Jedním z aspektů, které zásadně ovlivňují efektivitu materiálového toku výrobního systému, je úzké místo. Úzkým místem lze označit zdroj, na nějž kladené požadavky jsou vyšší než maximální možná dostupnost tohoto zdroje (viz kapitola 4.5.9 Teorie úzkých míst). Vhodným ukazatelem pro detekci úzkého místa je vytížení pracovišť. Jak je zřejmé z grafu na Obrázku 50, využití pracovišť skupiny 2 se pohybuje okolo 92%. Tak vysoké využití ukazuje na to, že pracoviště skupiny 2, jak jsou definovány dle vstupních parametrů, zásadně snižují efektivitu výrobního systému. Naopak využití pracovišť skupiny 1, v průměru 24,2 %, je nedostatečné, proto lze počet pracovišť této skupiny snížit. Ze skupiny 3 byla využita pouze kontrolní pracoviště 1 a 2. Pro kontrolu polotovarů postačí zahrnout do výrobního procesu pouze pracoviště 1.



Obrázek 50: Procentuální využití pracovišť v základním modelu

Maximální hodinová výrobnost systému dosahuje hodnoty 6,98 kusů za hodinu. Za dobu simulace (8 hodin) bylo zpracováno na pracovištích první skupiny 128 polotovarů, celkově bylo vyprodukováno 55 výrobků. Sklad byl zaplněn po 2 hodinách simulace polotovary z pracovišť 1, které byly ukládány do skladu a čekaly na nedostupné zdroje skupiny 2. Tato skutečnost potvrzuje, že skupina strojů 2, je úzkým místem systému.

8.5.4 Alternativy simulačního modelu

Následující alternativy simulačního modelu jsou navrženy dle skutečností zjištěných z výstupů simulace základního modelu.

- **Alternativa 1 – omezení počtu pracovišť**

V alternativě 1 byl omezen počet pracovišť skupiny 1. Jejich využití se zvyšuje, čím blíže jsou umístěny ke skupině 2 (viz Obrázek 50). Proto jsou do simulace zahrnuta ze skupiny 1 pracoviště 4, 5 a 6. Dále byla vyřazena z provozu kontrolní pracoviště 2, 3 a 4.

Snížením počtu pracovišť skupiny 1 došlo k zaplnění skladu až po 3,5 hodinách simulace. Využití pracovišť skupiny 1 se zvýšilo v průměru na 50,9 %, vytížení skupiny 2 se nesnížilo oproti základní alternativě. Maximální výrobnost této alternativy (6,93 kusů za hodinu) a celková produkce (55 kusů za 8 hodin) neindikuje nárůst oproti základní alternativě. Zvýší se efektivita výrobního systému, pokud se navýší kapacita skladu? Na tuto otázku odpovídá alternativa č. 2.

- **Alternativa 2 – navýšení kapacity skladu**

Z výsledků simulace alternativy 1 bylo zjištěno, že pro chod výrobního systému postačí 3 pracoviště skupiny 1 a 1 kontrolní pracoviště. Tato změna je zahrnuta i v této alternativě. Dále je zkoumán vliv navýšení kapacity skladu o 1 patro, tj. 36 skladových buněk.

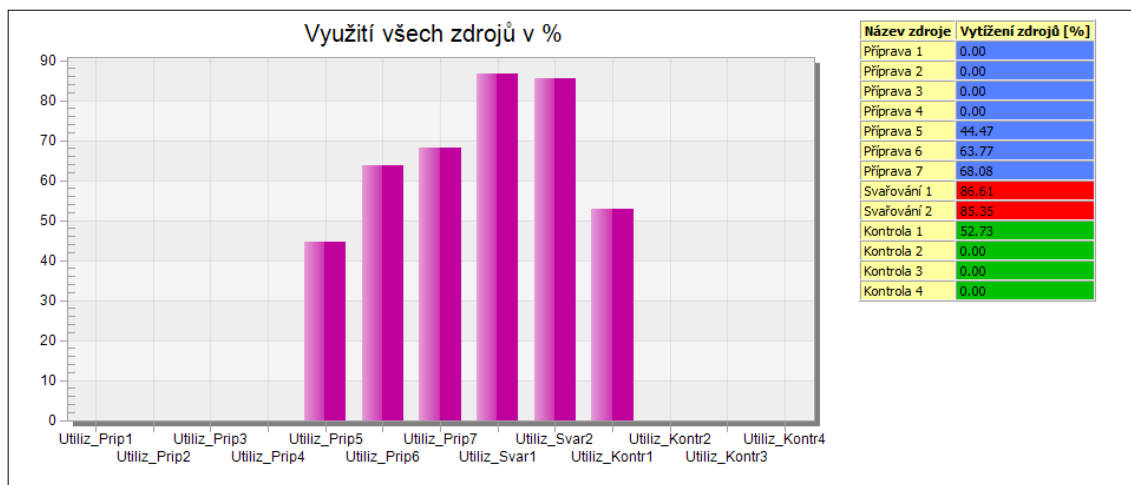
Polotovary z pracovišť 1, které byly ve skladu uloženy ke zpracování na zdrojích skupiny 2, zaplnily sklad po 5,5 hodinách. Z tohoto pohledu je

navýšení skladu o 1 patro přínosem. Simulační analýza ovšem ukazuje, že vytížení pracovišť se nezměnilo a maximální výrobnost (6,71 kusů za hodinu) a celková produkce (53 kusů za 8 hodin) je v podstatě stejná jako u předchozích alternativ.

Navýšení kapacity skladu nemělo vliv na výrobnost a celkovou produkci systému. Byl nalezen optimální počet strojů, vzhledem k jejich využití. Z výstupů simulace a analýzy předchozích alternativ vyplývá, že sklad není úzkým místem výrobního systému. Jediným úzkým místem systému jsou zdroje skupiny 2. Navýšení kapacity skladu oddálí okamžik jeho naplnění, takže může lépe eliminovat rozdíly v produktivitě skupin pracovišť.

• **Alternativa 3 – zrychlení procesního času svařovacích robotů**

Ve třetí alternativě je zachován zjištěný optimální počet pracovišť (viz Alternativa 1 a 2). Původní kapacita skladu byla shledána jako dostatečná, proto je v alternativě 3 počet buněk skladu 72. Pro odstranění úzkého místa výrobního systému, tedy skupiny pracovišť 2, by bylo možné navýšit počet pracovišť. To není z ekonomického hlediska možné. Další variantou je zvýšení průtoku zdrojů snížením procesního času pracovišť skupiny 2 v přijatelných mezích, tj. V tomto konkrétním případě o třetinu. Graf na Obrázku 51 shrnuje vytížení využitých zdrojů. U skupiny 1 došlo k mírnému zvýšení na 58,77 % a u skupiny 2 k mírnému snížení vytížení na 86%.



Obrázek 51: Procentuální využití pracovišť v alternativě 3

Zajímavé jsou ovšem hodnoty maximální výrobnosti a celkové produkce systému, ve kterém bylo redukováno úzké místo. Při snížení procesních časů automatizovaných pracovišť skupiny 2 výrobnost dosáhla hodnoty 9,41 kusů za hodinu a systém vyprodukoval 75 kusů během 8 hodin. Sklad byl zaplněn po 4 hodinách (viz Tabulka 22).

Alternativa	Zaplnění skladu [hod]	Průměrné využití skupin pracovišť [%] skup.1/skup.2/sku p.3	Maximální výrobnost [ks/hod]	Celková produkce [ks]
Základní alternativa	2	24,2 / 91,92 / 20,92	6,98	55
Alternativa 1	3,5	50,9 / 90,63 / 38,87	6,93	55
Alternativa 2	5,5	64,71 / 89,145 / 38,01	6,71	53
Alternativa 3	4	58,77 / 85,98 / 52,73	9,41	75

Tabulka 22: Souhrn výstupů simulace jednotlivých alternativ modelu

8.5.5 Souhrn

Počítačovou simulací základního modelu a jeho alternativ bylo zjištěno, že úzkým místem výrobního systému je skupina automatizovaných pracovišť 2. Snížením procesních časů zdrojů došlo k navýšení průtoku pracovišť a nalezené úzké místo bylo zredukováno. Tím došlo k navýšení výrobnosti a celkové produkce systému téměř o třetinu (viz Alternativa 3). Pomocí simulace je tedy možné důkladně prověřit různé varianty řešení, což vede k návrhům na zlepšení řízení či struktury. Simulace tak nabízí komplexnější pohled na studovaný problém a poskytuje větší přehled o podnikových procesech. Dále bylo ověřeno, že projektovaný počet pracovišť skupiny 1 a 2 je předimenzován. Dokážeme si však představit, že tato rezerva může být vhodně využita při zpracování logistiky skladu přípravků a dílů pro bodové svařování. Například jedno (první) pracoviště bude vyčleněno pro přípravu nejméně vyráběného sortimentu a zbývajících 6 pracovišť bude rozděleno na 2 skupiny, které by zpracovávaly nejvíce vyráběný sortiment. Samozřejmě údaj ze simulace o využití pracovišť dává přehled o očekávaných nárocích na personální zajištění. [73]

8.6 SIMULAČNÍ MODEL MONTÁŽNÍ LINKY

Cílem simulace montážní linky je jeho optimalizace za účelem zvýšení výrobnosti. V textu níže jsou zmíněny možnosti optimalizace výrobního systému, jako například přidání dalšího zdroje (tzn. stroje, operátora), odstranění zastaralých strojů za nové, outsourcing, změna způsoby řízení atd. Ty jsou jednotlivě namodelovány jako samostatné alternativy řešení, které jsou v rámci simulačního příkladu porovnány. Ze zhodnocení jednotlivých variant vyplývá, že aplikace outsourcingu má významný vliv na zvýšení výrobnosti. Oproti tomu změna způsobu řízení může mít radikální význam v redukci hladiny rozpracované výroby.

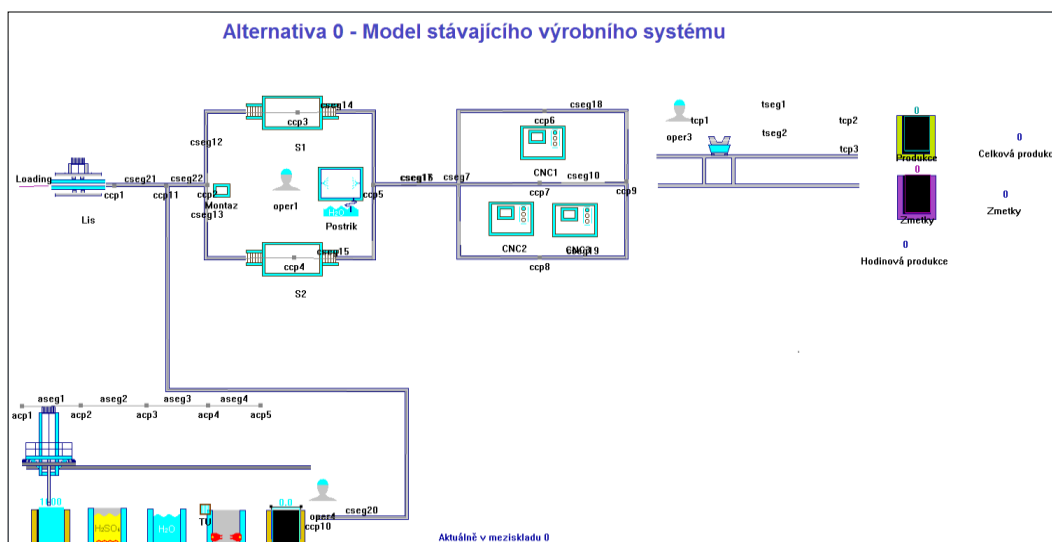
Cílem tvorby simulačního modelu montážní linky je v tomto případě zvýšení výrobnosti, optimalizace hladiny mezikladu a optimální využití zdrojů. Za účelem

redukce průběžných dob systému. K dosažení těchto cílů je možné implementovat do modelu různé změny, jako například:

- Přidání další směny;
- přidání dalšího zdroje (tzn. stroje, operátora);
- odstranění zastaralých strojů za nové, výkonnější;
- outsourcing;
- změna způsobu řízení (push systém, pull systém, push-pull systém) atd.

8.6.1 Popis výrobního systému

Výrobní systém se skládá ze dvou výroby, které na sebe navazují. První částí výroby je mořirna se třemi vanami, ve které se provádí povrchová úprava kovového polotovaru. Tento polotovaz je přenášen mezi vanami pomocí jeřábu. Polotovaz dále vstupuje do hlavní výroby, kde se montuje na slisované plechy. Po montáži se polotovaz opracovává na soustruzích. Následuje postřik, kde se mezivýrobek opláchne vodou od nečistot vzniklých soustružením. Finální fází hlavní výroby je opracování na CNC strojích. Poté výrobek přenesou operátor na transportér, kde se zkontroluje jakost výrobku, a podle výsledku kontroly se výrobek expeduje nebo pokračuje na sklad zmetků pro nové využití. Simulační model stávajícího výrobního systému je první z namodelovaných alternativ (Alternativa 0). Layout alternativy 0 je znázorněn na Obrázku 52. Dále v tomto textu jsou popsány alternativy se změnami aplikovanými za účelem dosažení stanovených cílů.

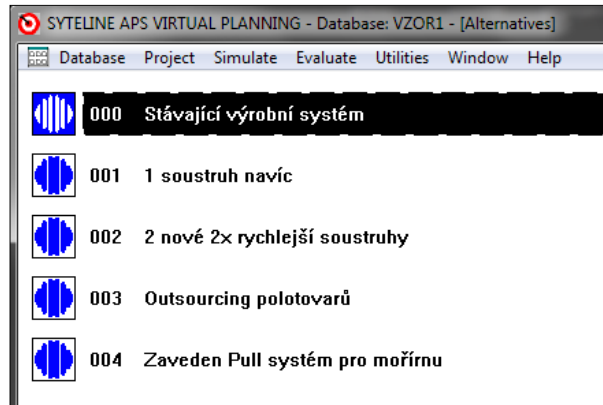


Obrázek 52: Layout montážní linky

8.6.2 Alternativy simulačního modelu

Oproti počáteční alternativě popsané výše je přidán v alternativě 1 do výrobního systému třetí soustruh, aby se dosáhlo optimalizace využití soustruhů, pokud budou shledány úzkým místem. Ve třetí alternativě byl zkoumán vliv zastaralosti zdrojů na výrobnost systému. Oproti alternativě 0 byly soustruhy nahrazeny dvěma novými, 2x

rychlejšími soustruhy. Třetí alternativa zkoumá možnost outsourcingu osoustružených polotovarů. Výrobní program oproti alternativě 2 začíná až operací postřiku. V alternativě č. 4 je zaveden pull systém pro získávání namořených polotovarů. Tato varianta je zaměřena na optimalizaci hladiny rozpracované výroby. Přehled alternativ simulačního modelu je znázorněn na Obrázku 53.



Obrázek 53: Alternativy simulačního modelu

8.6.3 Zhodnocení alternativ

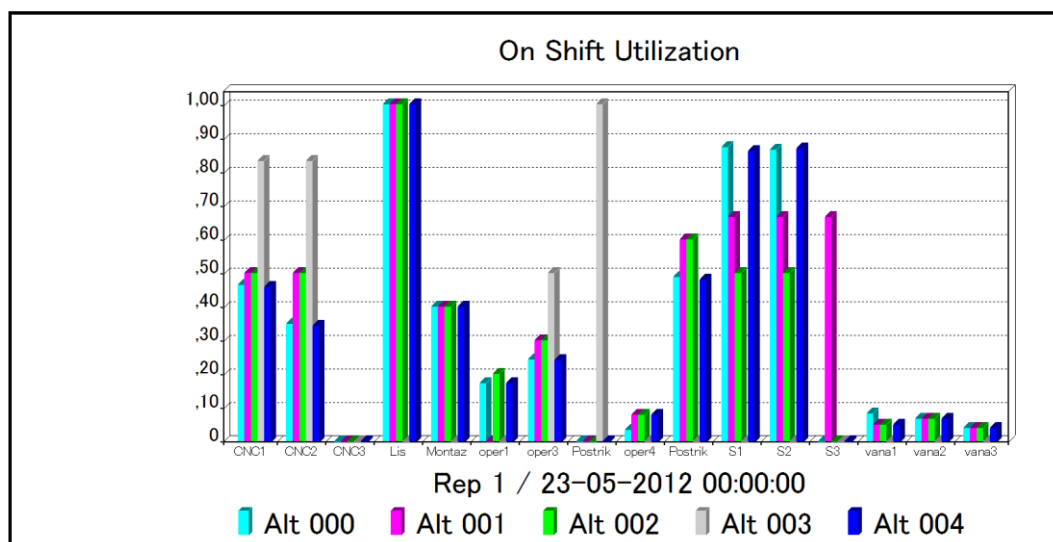
Cílem simulace a optimalizace výrobního systému je najít nejlepší řešení z hlediska provozovatele zařízení. Optimálním řešením může být například maximální produkce za jednotku času, optimální hladina meziskladů, optimální využití zdrojů atd. dle preferencí konkrétního provozovatele. Z toho vyplývá, že nejlepším řešením nemusí být nejvyšší výrobnost anebo že vysoké využití zdroje je na škodu. Simulací jednotlivých alternativ výrobního systému bylo zjištěno, že není potřeba třetího CNC soustruhu k uspokojení požadované produkce.

Nejvyšší výrobnosti (viz Obrázek 54) dosahuje alternativa 3, kde je aplikován outsourcing osoustružených polotovarů, a to 928 ks za 24 hodin.

Project: SYTELINE APS VIRTUAL PLANNING Project VZOR Completion Date: 23-05-2012 00:00:00					
Alternative: 000 - Vzorovy prikklad Replicate: 1					
Alternative: 001 - +1 soustruh					
Alternative: 002 - 2x Rychlejsi soustruhy					
Alternative: 003 - Outsource					
Alternative: 004 - Pull					
Alt	Value ID	Average	Std Dev	Minimum	Maximum
000	Celková produkce	563.129	66.081	446.000	671.000
001		694.249	80.127	555.000	833.000
002		695.079	80.127	556.000	834.000
003		696.428	133.616	465.000	928.000
004		561.937	65.031	446.000	669.000
000	Hodinová produkce	23.464	2.753	18.583	27.958
001		28.927	3.339	23.125	34.708
002		28.962	3.339	23.167	34.750
003		29.018	5.567	19.375	38.667
004		23.414	2.710	18.583	27.875
000	Mezisklad	10.486	0.500	10.000	11.000
001		10.519	0.500	10.000	11.000
002		10.519	0.500	10.000	11.000
003		No Data			
004		-0.621	0.485	-1.000	0.000
000	Zmetky	15.170	3.043	11.000	21.000
001		19.991	3.160	15.000	25.000
002		20.020	3.160	15.000	25.000
003		20.051	5.034	11.000	28.000
004		15.061	2.959	11.000	21.000

Obrázek 54: Celková výrobnost, hodinová výrobnost, hladina meziskladu a počet zmetků za 24 hodin jednotlivých alternativ

Využití CNC strojů vzrostlo na téměř 80% (Procentuální využití zdrojů ve všech alternativách je zobrazeno na grafu Obrázku 55). Alternativy č. 1 a č. 2 mají shodnou výrobnost 834ks za 24hodin. Při této úrovni výrobnosti má alternativa č. 1 vyšší využití všech 3 soustruhů (téměř 70%). Oproti tomu vykazuje alternativa 2 využití obou soustruhů 50%. U alternativy č. 4, kde byl aplikován pull systém na získávání polotovarů z mořírny, se snížila hladina meziskladu na 0. Tato alternativa vykazuje nejnižší výrobnost, a to 669ks/24hodin a využití zdrojů téměř 90%.



Obrázek 55: Procentuální využití zdrojů během pracovní směny u jednotlivých alternativ

8.6.4 Souhrn

Do modelu byly zaneseny změny 2 až 5, které byly popsány v kapitole 8.6 Simulační model montážní linky. Obecně mohou mít změny různý vliv na jednotlivé vytyčené cíle. Lze ovšem říci, že aplikace outsourcingu (v závislosti na rozsahu svěřené činnosti jiné společnosti) má významný vliv na zvýšení výrobnosti. Oproti tomu změna způsobu řízení může mít radikální význam v redukci hladiny rozpracované výroby. Tlačný (push) systém provede nejprve podle známých předpokladů vlastní rozplánování a na jeho základě realizuje výrobu, tzn., tlačí zakázku výrobou podle předem vytvořeného plánu. Naopak u tažného (pull) systému vyžaduje kompletnost výsledného výrobku sadu polotovarů, z nichž každý se skládá z dalších polotovarů nebo materiálů (hierarchická struktura). Požadavky koncových výrobků táhnou ve svém důsledku celý systém. Zavedením pull systému je možné dosáhnout výroby "Just in sequence" (JIS), což znamená, že součástky a díly dorazí na výrobní linku právě ve chvíli, kdy jsou vyžadovány pro montáž.

Cílem simulace tohoto konkrétního výrobního systému je zvýšení jeho celkové výrobnosti. Tento cíl je dosažen ve všech zkoumaných alternativách kromě alternativy č. 4. Zde je na úkor mírného snížení výrobnosti, oproti počáteční hladině v původním výrobním systému, zredukován mezisklad rozpracované výroby na 0. [74]

8.7 OPTIMALIZACE VSTUPU VÝROBNÍCH PŘÍKAZŮ DO VÝROBNÍHO SYSTÉMU

Jako alternativní optimalizační algoritmus k algoritmům pull a push je možné optimalizovat rozložení vstupu výrobních příkazů do výrobního systému. V následující případové studii byl zkoumán vliv změny rozložení vstupu požadavků na délku fronty u zdroje s nejvyšším vytížením.

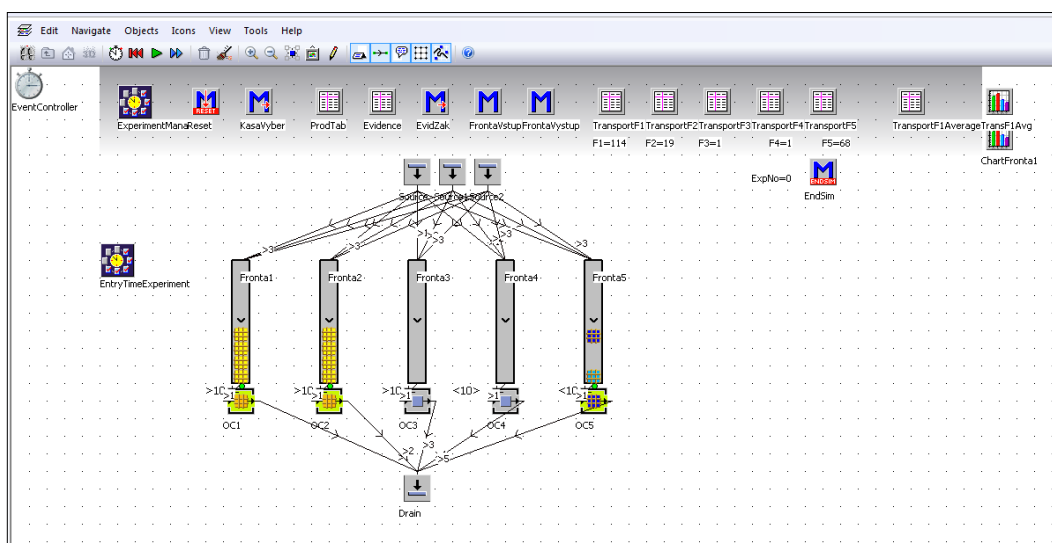
Byla aplikována analýza úzkých míst výroby za účelem nasazení konceptu řízení výroby OPT (Optimized production technology), jež je zaměřený na optimalizaci výrobních toků (viz kapitola 4.5.8.). Tento systém vede k zvýšení celkové průchodnosti výrobního systému. Výrobní systém, na kterém byla tato analýza prováděna je specifický víceproduktovou výrobou, kde různé produkty vyžadují zpracování na obráběcích centrech s různými operačními časy.

8.7.1 Popis simulačního modelu

- **Obráběcí centra**

Layout simulačního modelu linkového výrobního systému obsahuje 5 obráběcích center (viz Obrázek 56). Některá obráběcí centra jsou určena pouze pro výrobní příkazy se specifickým požadavkem na opracování. Obráběcí centrum číslo 1, 2 a 3 slouží k obsluze výrobních příkazů typu A. Obráběcí centrum číslo 5 obsluhuje pouze výrobní příkazy typu B, doba obrobění je zde nejkratší, a to 1,5 až 2,5 minuty dle rovnoměrného rozložení.

Obráběcí centrum číslo 4 umožňuje obstarávat všechny výrobní příkazy a stejně jako u obráběcího centra 1, 2 a 3 může doba obsluhy trvat 3 až 5 minut.



Obrázek 56: Layout simulačního modelu linkového výrobního systému

- **Linky**

Před každým obráběcím centrem se nachází linka. Pokud ale dosáhne své maximální kapacity 6 polotovarů, je další obráběcí centrum uvedeno do provozu. To se ovšem netýká obráběcího centra číslo 5 pro výrobní příkazy typu B, které je v provozu neohledně na délky front na ostatních linkách.

- **Polotovary**

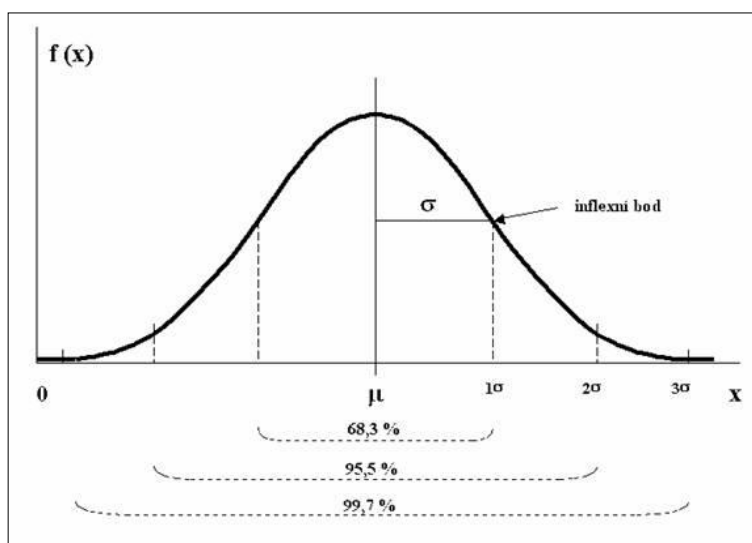
Jak již bylo zmíněno výše, jsou namodelovány 3 typy obráběcích center pro výrobní příkazy s různými požadavky. Proto bylo nutné nadefinovat 2 typy polotovarů, a to typu A a typu B. Ty vstupují do simulačního modelu dle produkční tabulky (viz tabulka na Obrázku 57). Pořadí produkce výrobních příkazů se pak řídí pravidlem "Sequence Cyclical" tzn., že výrobní příkazy přicházejí v pevném pořadí, které je definováno v produkční tabulce, tedy 8 výrobních příkazů typu A a 5 výrobních příkazů typu B. Tato sekvence se pravidelně opakuje.

	object 1	integer 2	string 3	table 4
string	MU	Number	Name	Attribute
1	.MUs.A	8	A629	AtrA
2	.MUs.B	5	B629	AtrB
3				
4				
5				
6				

Obrázek 57: Produkční tabulka pro definici sekvence příchodu výrobních příkazů

- Rozložení vstupu výrobních příkazů do výroby

Počet výrobních příkazů ve výrobním systému se během směny mění, proto je i tato skutečnost zahrnuta do modelu. V době od 9h do 11h vstoupí do výroby menší počet výrobních příkazů. V základní verzi modelu je tato pravděpodobnost příchodu k obráběcímu centru zanesena pomocí normálního rozložení (viz Obrázek 58) se středem 3 minuty a rozptylem 10 vteřin (tento rozptyl je stejný po celou pracovní směnu. V době od 11 do 15 hodin vstoupí do výroby větší počet výrobních příkazů, a to s rozložením se střední hodnotou 2 minuty a v době od 15 hodin do 22 hodin je třeba obrobít největší počet výrobních příkazů, tj. s normálním rozložením se středem 1 minuta.



X = spojitá náhodná veličina

$f(x)$ = hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny X

m = střední hodnota náhodné veličiny X

s = směrodatná odchylka náhodné veličiny X

Obrázek 58: Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti [55]

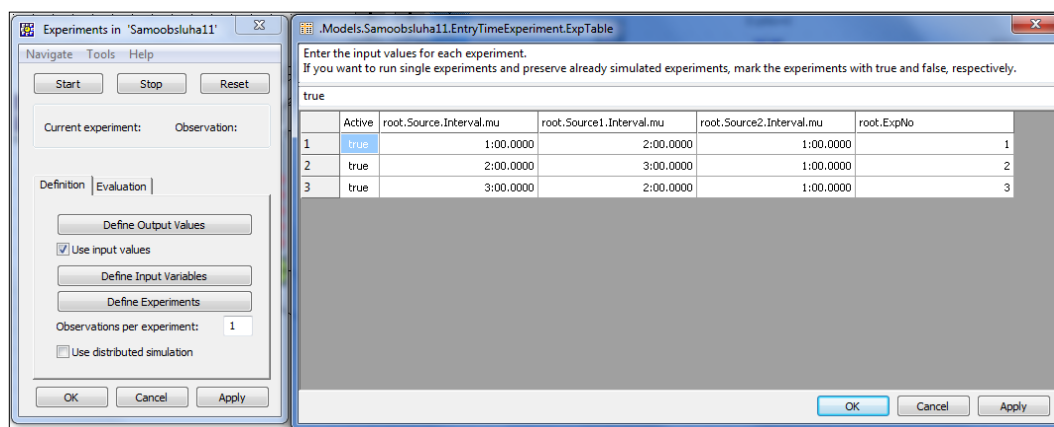
Jedním z důvodů použití počítačové simulace pro optimalizaci procesů je schopnost odpovědět na otázky typu "Co když?". V rámci této případové studie vyvstává následující otázka: Co když se změní rozložení příchodu výrobních příkazů do výroby během pracovní směny? Jaký dopad bude mít tato změna na počet obslužených výrobních příkazů? Popřípadě jaké organizační změny je nutné provést ve výrobním systému, aby se počet obslužených výrobních příkazů optimalizoval? Na tyto otázky dokáže odpovědět modul použitého simulačního SW, Experiment Manager.

Pro implementaci modelu byl využit simulační software Plant Simulation firmy Siemens, který nabízí komponenty a moduly pro snadnější práci s modelem. Jeden tento modul pro zpracování experimentální studie, Experiment Manager, byl využit i pro tuto simulační studii. Experiment manager umožňuje v krátkém časovém úseku

zjistit, jakým způsobem ovlivňuje změna proměnných a jejich kombinace parametry výrobního systému.

8.7.2 Simulační experiment

Pro implementaci simulačního experimentu byl využit modul softwaru pro zpracovávání experimentů Experiment manager. Experiment zkoumá vliv změny rozložení příchodu výrobních příkazů během pracovní směny na výrobnost. Cílem experimentu je nalézt optimální rozložení. Obrázek 59 znázorňuje definici experimentu. Pro konkrétní experiment je možné definovat vstupní a výstupní parametry, hodnoty experimentu, počet sledování každého experimentu atd.



Obrázek 59: Komponenta Experiment Manager a definice experimentu

Pro účely případové studie byly nedefinovány 3 experimenty rozložení příchodu výrobních příkazů. První experiment může představovat velký nárůst zakázek, kdy se zvýší počet požadavků na obrobení. Během dopolední a odpolední směny vstupují výrobní příkazy se střední hodnotou 1 minuta. Přes oběd se počet výrobních příkazů mírně sníží, střední hodnota je nastavena na 2 minuty. Experiment číslo 2 definuje množství požadavků na obrobení v dopolední směně se střední hodnotou 2 minuty, v poledne 3 minuty a odpoledne je třeba obsloužit největší počet výrobních příkazů střední hodnotou příchodu 1 minuta. Třetí experiment představuje situaci běžného pracovního dne, jak již byla definována výše.

8.7.3 Výsledky experimentu

Cílem experimentu bylo nalézt vliv rozložení příchodu výrobních příkazů do výrobního systému na celkovou produkci systému (TP - Total Production). Simulací experimentů s modelem bylo zjištěno, že nejvyšší počet obslužených výrobních příkazů, 589 (viz Obrázek 60) vykazuje experiment č. 1 s nejnižšími středními hodnotami příchodu. Logicky se výsledek tohoto experimentu, který odpovídá vysokému vytížení výrobního systému, dal předpokládat. Zajímavé jsou výsledky dalších dvou experimentů s podobnými hodnotami normálního rozložení. Pro

experiment č. 2 je počet obrobených výrobních příkazů 486 a 508 výrobních příkazů pro experiment č. 3.

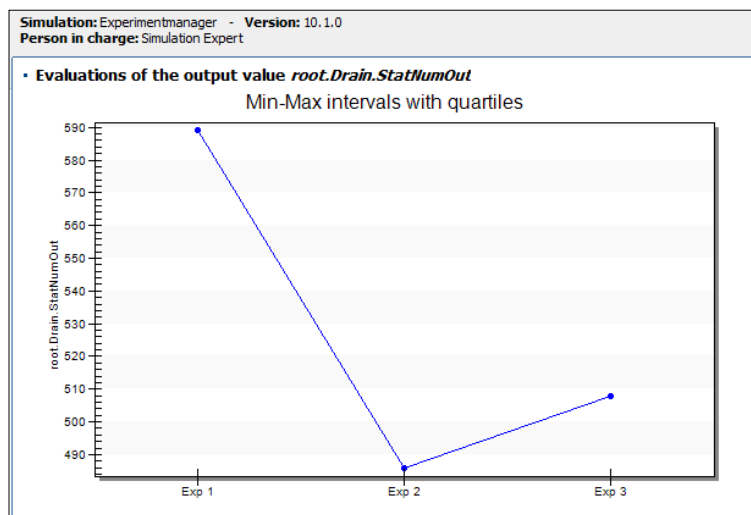
Simulation: Experimentmanager - Version: 10.1.0
Person in charge: Simulation Expert

• Overview
Overview of all executed experiments, their parametrizations and the mean values of the target values.

	root.Source.Interval.mu	root.Source1.Interval.mu	root.Source2.Interval.mu	root.ExpNo	root.Drain.StatNumOut
Exp 1	1:00.0000	2:00.0000	1:00.0000	1	589
Exp 2	2:00.0000	3:00.0000	1:00.0000	2	486
Exp 3	3:00.0000	2:00.0000	1:00.0000	3	508

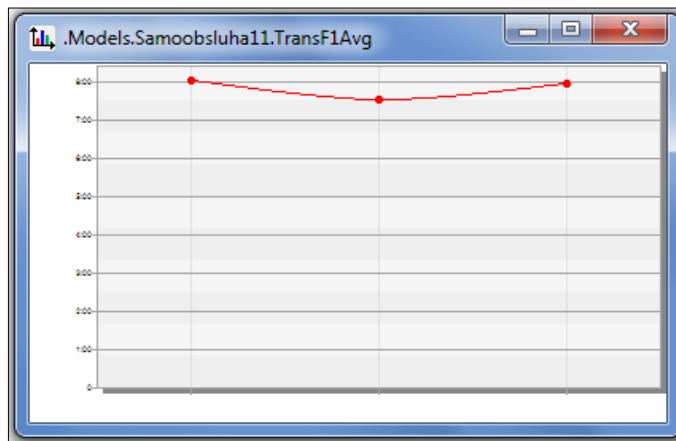
Obrázek 60: Tabulka s parametry jednotlivých experimentů a jejich výsledky

Jak je vidět na Obrázku 61, který zachycuje grafické vyjádření výsledků experimentu, bylo nalezeno lokální minimum odpovídající výsledku experimentu č. 2.



Obrázek 61: Grafické zobrazení výsledků experimentu

Dále byla zkoumána průměrná hodnota doby čekání výrobního příkazu v nejvíce vytížené frontě číslo 1, a to 7,5 minuty (viz Obrázek 62). Výsledky z této analýzy potvrzují nalezení lokálního minima odpovídající vstupním hodnotám experimentu č. 2.



Obrázek 62: Grafické zobrazení průměrných dob čekání ve frontě 1 vzhledem k jednotlivým experimentům.

8.7.4 Souhrn

Simulací modelu linkového výrobního systému, experimentováním s modelem a analýzou jeho výsledků bylo zjištěno, že rozložení příchodu výrobních příkazů má vliv na celkovou produkci i na dobu čekání ve frontě. Bylo nalezeno lokální minimum obrobených výrobních příkazů, to znamená, že je možné provést takové změny v organizaci výroby, které povedou ke zvýšení celkové výrobnosti. Případovou studii lze analogicky převést na další výrobní systémy. Pomocí počítačové simulace lze potom navrhnout několik alternativ simulačního modelu. Z nich pak lze vybrat nejoptimálnější alternativu, aplikovat změny na výrobní proces a tak ho zefektivnit. [68]

8.8 SIMULAČNÍ MODEL VÝROBY ŠROUBŮ

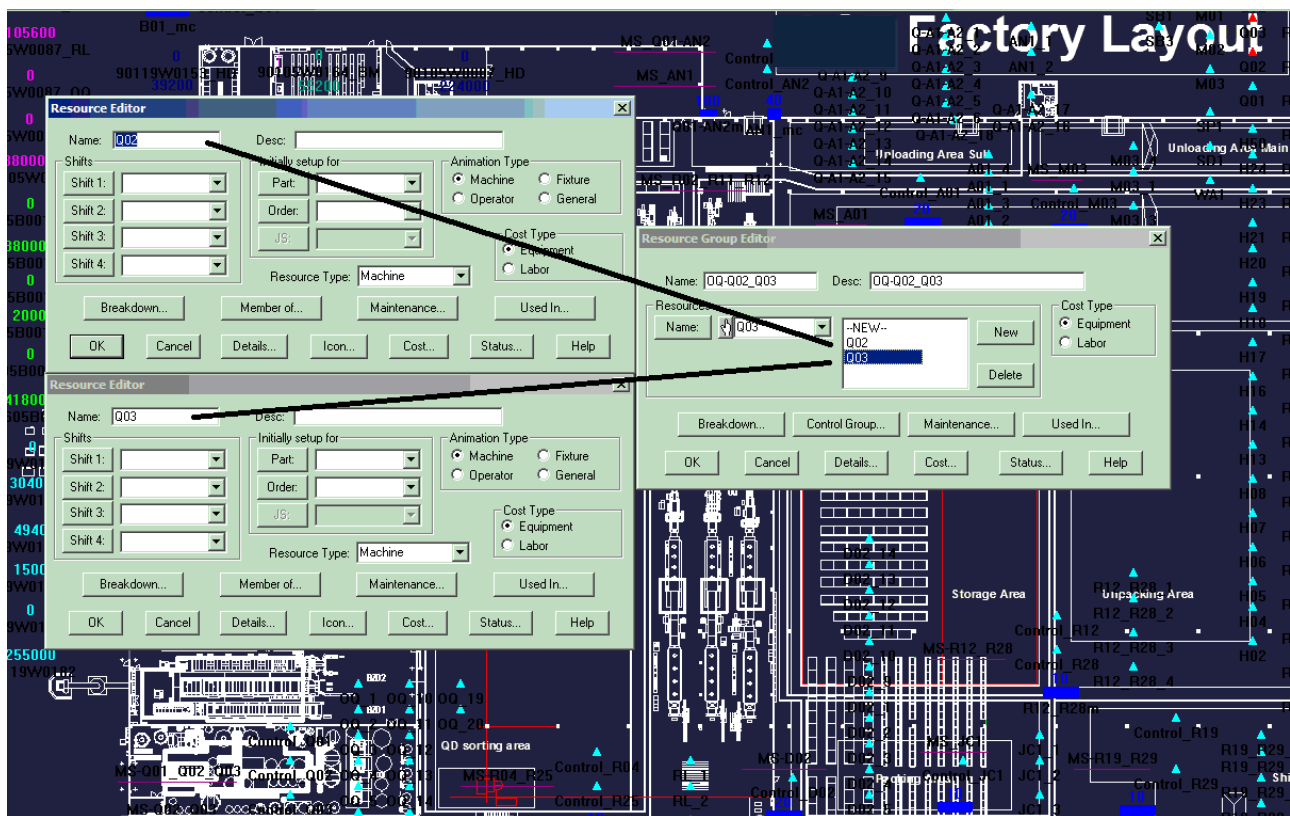
8.8.1 Návrh simulačního modelu

Simulační model výroby šroubů byl zpracován za využití ucelené struktury dat získaných ze stávajícího informačního systému podniku.

Návrh simulačního modelu sestává z několika kroků, které jsou popsány v této kapitole. Pro návrh simulačního modelu byl použit SW nástroj Syteline APS. Jako vstupní data do simulačního modelu byly použity soubory Excelu vygenerované z informačního systému podniku, konkrétně QI.

1. Definování zdroje, skupiny zdrojů, layout

Zdroje (stroje, zařízení, operátoři) jsou definovány a vloženy do odpovídajících skupin. Například skupina zdrojů OQ-Q02_Q03 je definovaná tak, že 2 zdroje (Q02 a Q03) vstupují do skupiny OQ-Q02_Q03 podle Obrázku 63:



Obrázek 63: Definice skupiny zdrojů OQ-Q02_Q03

Do skupiny smí být zařazeny jenom zdroje, které jsou schopny zajistit požadovanou operaci. Z toho vyplývá, že technolog musí brát na zřetel technologické požadavky operací a vytvářet rozmanité skupiny podle potřeb výroby.

Pro realističtější modelování výrobního systému jsou vkládány layouts podniku a grafické zobrazení zdrojů ve 2D nebo 3D. Grafika může být rozpracována například v Autocadu. Každý zdroj musí obsahovat 7 ikon a to podle stavu, ve kterém se nachází: nepracuje, pracuje, seřizuje se, blokováno, údržba, mimo pracovní směnu, porucha.

Zdroje ve skupině jsou vybírány podle různých algoritmů. Například podle algoritmu „Minimální seřizovací čas“ pokud je požadován zdroj ze skupiny, pak je vybrán volný stroj, který je pro danou operaci již seřizen. Tím se minimalizuje čas seřízení a zvyšuje se propustnost výrobního systému, pokud je zdroj úzké místo výroby nebo leží v kritické cestě pro daný výrobní příkaz. Vhodnost tohoto algoritmu se musí ověřit pomocí dynamické simulace, protože jeho aplikace může vést ke zdržení výrobních příkazů, které mají větší prioritu, ale vyžadují přeseřízení.

2. Definování materiálů, polotovarů a výrobků

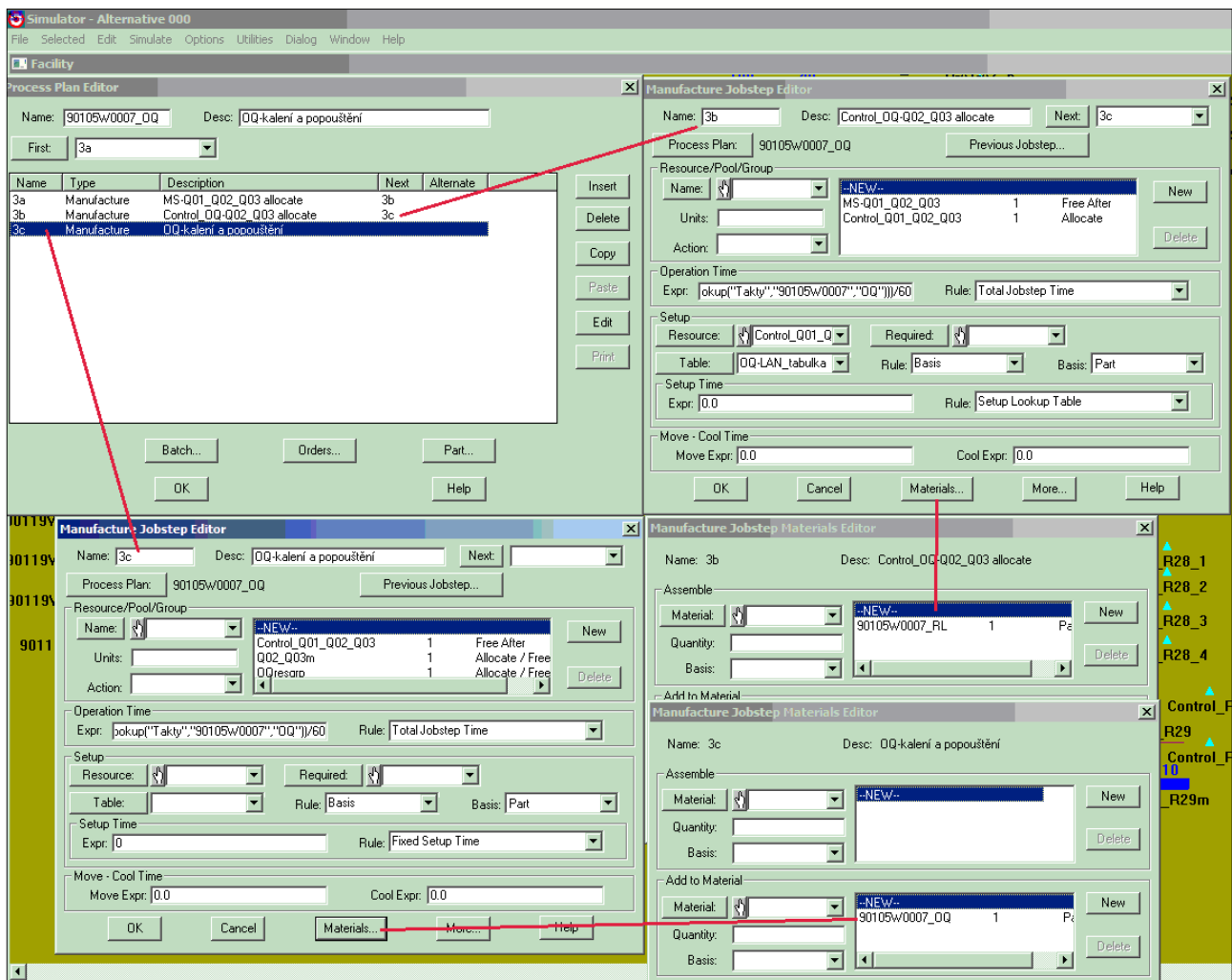
Materiály, polotovary (dílce) a výrobky jsou modelovány za použití modelovací komponenty „Material“. Kromě toho polotovary (dílce) a výrobky jsou modelovány za použití modelovací komponenty „Part“. To je z toho důvodu, že pokud se polotovary (dílce) a výrobky vyrobí, pak se uloží do komponenty „Material“ a mohou se použít jako vstup pro další úroveň kusovníků.

3. Definování technologických postupů

Pro definování technologických postupů je použita modelovací komponenta „Process Plan“ (Procesní plán). Jedná se o modelovací nástroj na popis hmotných, materiálových, finančních, informačních a jiných toků v simulačním modelu. Procesní plán v sobě zahrnuje technologické postupy, kusovníky, algoritmy pro řízení toků apod. Procesní plány sestávají z procesních kroků obsahující informace o výrobních (a /nebo jiných) procesech (viz Obrázek 64).

Tyto informace jsou (například pro dílec 90105W0007_OQ):

- Číslo a popis procesního kroku (3a, 3b, 3c, OQ-kalení a popouštění);
- zdroje, které se seřizují (zdroj ze skupiny Control_Q01_Q02_Q03);
- zdroje potřebné pro seřízení (pokud jsou definovány);
- čas seřízení (podle přeseřizovací tabulky „OQ-LAN_tabulka“);
- algoritmus určující seřízení – v modelu je aplikován algoritmus, který určí, že seřízení se bude provádět, pokud se změní výrobek (Rule:Basis:Part);
- kusový nebo dávkový čas (podle tabulky);
- zdroje pro danou výrobní operaci;
- čas přesunu a technologické zdržení (pokud je definován).



Obrázek 64: Definice procesního plánu a procesních kroků modelu

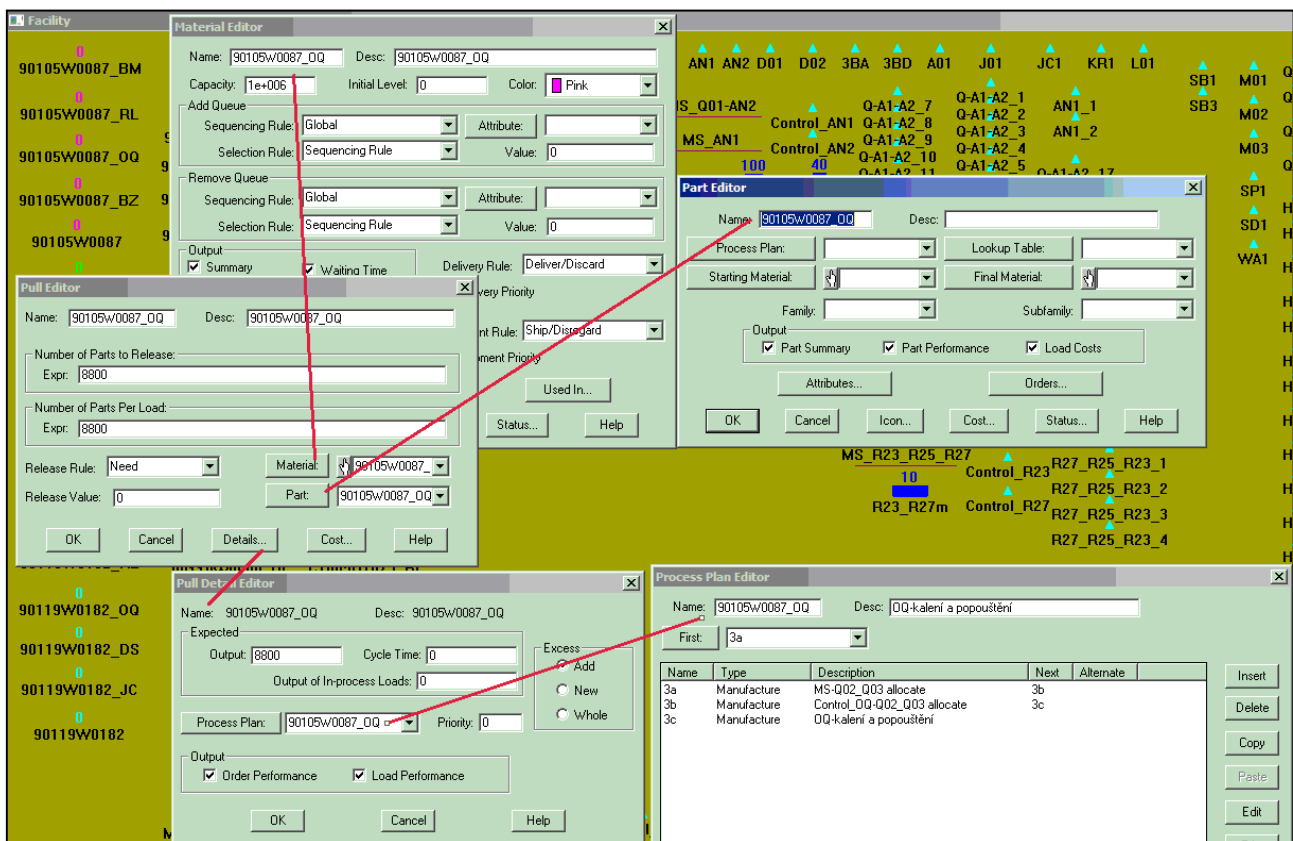
4. Definování kusovníků

Kusovníky jsou definovány v procesních krocích „Manufacture“, kde jsou uvedeny materiály vstupující do procesního kroku a materiály, které procesní krok produkuje.

5. Návaznost jednotlivých úrovní kusovníku a tažný způsob řízení výroby

Jednotlivé úrovně kusovníku jsou inicializovány pomocí modelovací komponenty „PULL“, která zajišťuje zároveň i tažný způsob řízení dávek v simulačním modelu.

Každý vyráběný dílec má definován „PULL“ (táhlo), který reaguje na požadavky přicházející z nadřazené úrovně kusovníku (viz Obrázek 65). V případě potřeby určitého dílce a na základě algoritmu uvedeného v „Release Rule“ se generují potřebné výrobní dávky na výrobu tohoto dílce podle zadaného procesního plánu. Pokud je nastaven algoritmus „Release Rule“ = „Need“, požadovaná hladina zásob pro dílec je nulová a velikost dávky rovná se 1, pak se vyrobí přesně potřebné množství tohoto dílce. V případě, že je zapotřebí udržovat určitou hladinu zásob dílce, pak se nastaví hodnota „Release Value“ na potřebnou úroveň zásob.



Obrázek 65: Implementace tažného (PULL) systému řízení v modelu

6. Definování zakázek

Zakázky na koncový výrobek jsou definovány za použití modelovací komponenty „Order“, kde je uveden požadovaný výrobek, procesní plán, celkový počet požadovaných kusů, počet kusů v dávce a požadované termíny vstupu do výroby a termín dokončení zakázky. Rozpad podle kusovníku na jednotlivé, požadované dílce se pak provádí automaticky a systém generuje výrobní příkazy na dílce z nižších úrovní kusovníku. Opakující se zakázky jsou modelovány pomocí modelovací komponenty „Demand“.

7. Definování pracovních směn

Je definovaná pracovní směna pondělí až pátek v časovém rozmezí 6 až 14:30 hod. Tato pracovní směna je aplikovaná na všechny zdroje.

8.8.2 Alternativy simulačního modelu

Alternativa 000

Základní alternativa (Alternativa 000) byla vypracována za použití následujících globálních vstupních parametrů:

- Vstup výrobních příkazů do systému je řízen podle nejdřívějšího termínu dokončení zakázky (Global Rules – Earlest Due Date). Definice tohoto pravidla je znázorněna na Obrázku 66.
- Výrobní dávky vytvářející fronty u zdrojů jsou řízeny také podle nejdřívějšího termínu dokončení zakázky. Použitím tohoto pravidla je zohledněn požadavek zákazníka na včasné dokončení výrobní zakázky.

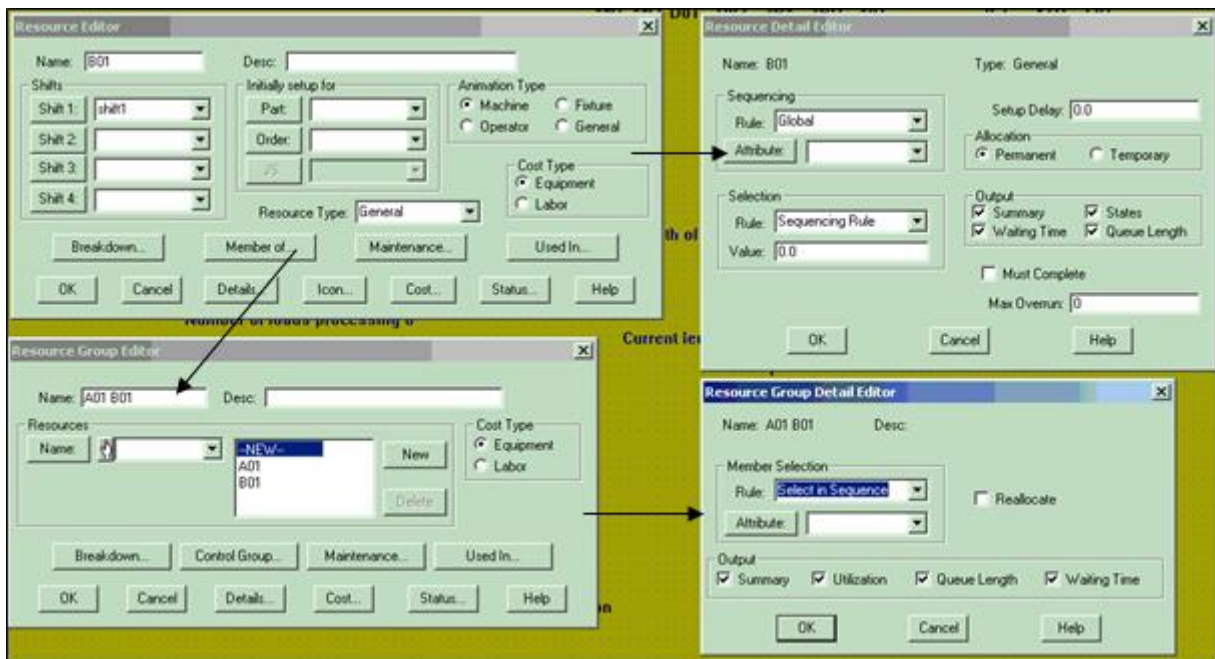
The screenshot shows the 'Batch Simulator Options: Alt 000' dialog box. It is organized into several sections:

- Start:** Date: 01.06.2014, Time: 00:00:00
- Finish:** Date: 01.01.2016, Time: 10:00:00
- Clear Statistics:** Date: 01.06.2014, Time: 00:00:00
- Global Rules:** Sequence Priority: Earliest Due Dat, Order Release: Earliest Due Dat, Number of Runs: 1, Efficiency Factor: 1, and an unchecked checkbox for 'Ignore Unconfirmed Orders'.
- Costs:** Indirect Labor Rate: 0, Indirect Material Rate: 0, Carrying Cost Rate: 0, and Overhead Alloc.: No Allocation.
- Trace Report:** A checkbox for 'Write to File' is checked, with the filename 'TRACE.TXT'. It also has Start and Finish date/time fields and a 'Level' section with radio buttons for Minimal (selected), Limited, and Extensive.

At the bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Obrázek 66: Nastavení vstupních parametrů Alternativy 000

- Sekvenční a selekční pravidla pro řízení front výrobních dávek se řídí globálním pravidlem nejdřívějšího termínu dokončení zakázky (Global Rules – Earlest Due Date).
- Jak je vidět na Obrázku 67, pro výběr zdrojů ze skupiny je použit algoritmus (Select in Sequence), protože další algoritmy nemají vliv na zkoumané parametry výrobního systému a proto nejsou popsány.



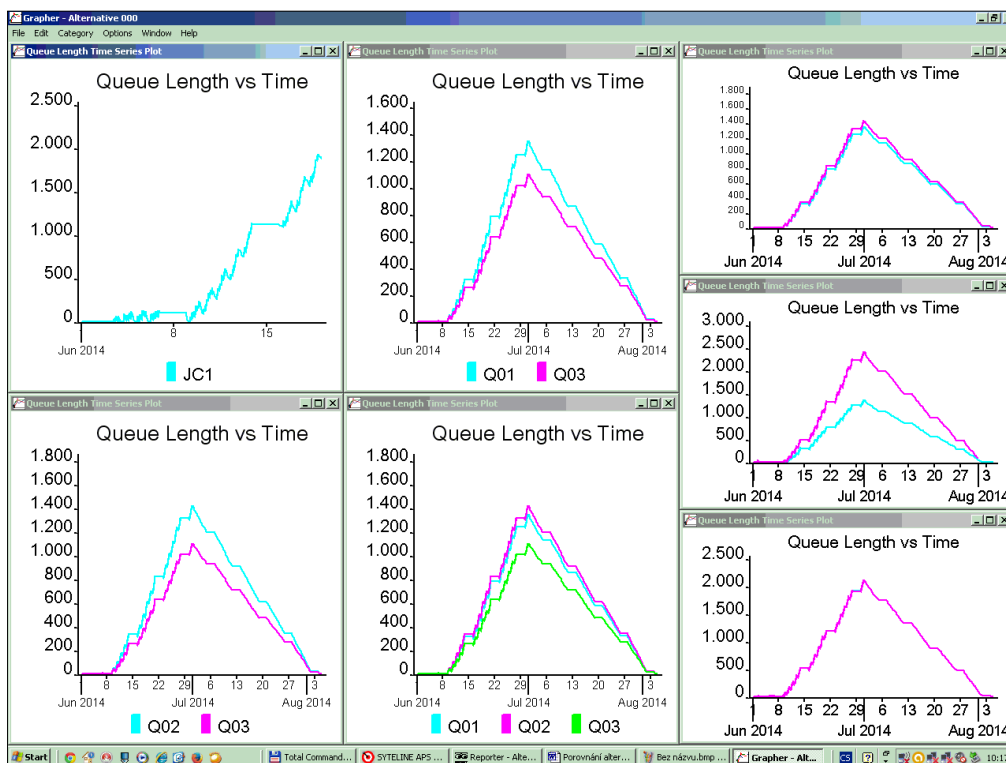
Obrázek 67: Definice algoritmu pro výběr zdroje ze skupiny

- **Analýza front** - Ve všech alternativách se prováděla analýza front čekajících výrobních dávek. Analýza byla provedena podle průměrné délky front, kde délka fronty je vázána na počet čekajících dávek. Nejdelší fronta je u zdroje JC1 (1793 dávek), JC2 (1551 dávek). Další fronty jsou zřejmé z níže uvedené tabulky (viz Obrázek 68).

Resource	Proportion		On Shift		States		Queue Length				Wast		
	Scheduled	Overtime	On Shift	Busy	Busy	Setup	Idle	Breakdown	Maintenance	Blocked	Off	Average	Std Dev
3BA	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
3BD	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
A01	0.708	0.000	0.148	0.105	0.000	0.604	0.000	0.000	0.000	0.292	545.255	429.120	0.000
AK1	0.708	0.000	0.014	0.010	0.098	0.601	0.000	0.000	0.000	0.292	1.368	3.136	0.000
AK2	0.708	0.000	0.015	0.011	0.042	0.655	0.000	0.000	0.000	0.292	0.986	2.612	0.000
B01	0.708	0.000	0.273	0.193	0.000	0.515	0.000	0.000	0.000	0.292	955.073	766.926	0.000
B02	0.708	0.000	0.004	0.003	0.000	0.706	0.000	0.000	0.000	0.292	25.339	18.444	0.000
D01	0.708	0.000	0.179	0.127	0.000	0.592	0.000	0.000	0.000	0.292	859.303	661.629	0.000
D02	0.708	0.000	0.176	0.125	0.000	0.584	0.000	0.000	0.000	0.292	0.138	0.445	0.000
H02	0.708	0.000	0.162	0.115	0.006	0.587	0.000	0.000	0.000	0.292	0.234	1.139	0.000
H04	0.708	0.000	0.157	0.118	0.014	0.572	0.000	0.009	0.000	0.292	0.379	1.070	0.000
H05	0.708	0.000	0.192	0.126	0.005	0.568	0.000	0.000	0.000	0.292	0.618	0.808	0.000
H06	0.708	0.000	0.222	0.157	0.003	0.549	0.000	0.000	0.000	0.292	0.104	0.341	0.000
H07	0.708	0.000	0.162	0.114	0.007	0.587	0.000	0.000	0.000	0.292	0.354	1.017	0.000
H08	0.708	0.000	0.195	0.138	0.012	0.559	0.000	0.000	0.000	0.292	0.130	0.364	0.000
H13	0.708	0.000	0.141	0.100	0.006	0.603	0.000	0.000	0.000	0.292	0.162	0.460	0.000
H14	0.708	0.000	0.173	0.123	0.000	0.586	0.000	0.000	0.000	0.292	0.102	0.354	0.000
H16	0.708	0.000	0.166	0.117	0.005	0.586	0.000	0.000	0.000	0.292	0.095	0.371	0.000
H17	0.708	0.000	0.056	0.040	0.008	0.661	0.000	0.000	0.000	0.292	0.090	0.312	0.000
H18	0.708	0.000	0.108	0.076	0.004	0.628	0.000	0.000	0.000	0.292	0.120	0.493	0.000
H19	0.708	0.000	0.118	0.083	0.005	0.620	0.000	0.000	0.000	0.292	0.105	0.532	0.000
H20	0.708	0.000	0.070	0.050	0.007	0.651	0.000	0.000	0.000	0.292	0.253	0.713	0.000
H21	0.708	0.000	0.112	0.079	0.017	0.613	0.000	0.000	0.000	0.292	0.085	0.384	0.000
H23	0.708	0.000	0.074	0.053	0.007	0.648	0.000	0.000	0.000	0.292	0.001	0.299	0.000
H24	0.708	0.000	0.032	0.023	0.002	0.894	0.000	0.000	0.000	0.292	0.193	0.819	0.000
H50	0.708	0.000	0.055	0.039	0.009	0.661	0.000	0.000	0.000	0.292	1793.206	1352.485	0.000
JC1	0.708	0.000	0.224	0.230	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.292	1551.413	1188.080	0.000
JC2	0.708	0.000	0.262	0.185	0.000	0.523	0.000	0.000	0.000	0.292	255.615	192.777	0.000
KR1	0.708	0.000	0.387	0.275	0.000	0.434	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
L01	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
M01	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
M02	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
M03	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
PC	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
FM4	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
Q01	0.708	0.000	0.078	0.055	0.579	0.075	0.000	0.000	0.000	0.292	559.806	427.785	0.000
Q02	0.708	0.000	0.182	0.129	0.500	0.080	0.000	0.000	0.000	0.292	592.207	451.723	0.000
Q03	0.708	0.000	0.146	0.104	0.520	0.085	0.000	0.000	0.000	0.292	457.728	349.992	0.000
Q12	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
R01	0.708	0.000	0.162	0.115	0.008	0.586	0.000	0.000	0.000	0.292	0.485	1.129	0.000
R02	0.708	0.000	0.114	0.081	0.011	0.616	0.000	0.000	0.000	0.292	0.448	0.910	0.000
R03	0.708	0.000	0.092	0.065	0.007	0.637	0.000	0.000	0.000	0.292	0.461	1.495	0.000
R04	0.708	0.000	0.129	0.092	0.009	0.608	0.000	0.000	0.000	0.292	0.588	1.872	0.000
R05	0.708	0.000	0.197	0.139	0.007	0.562	0.000	0.000	0.000	0.292	0.913	2.115	0.000
R06	0.708	0.000	0.133	0.094	0.011	0.603	0.000	0.000	0.000	0.292	2.308	1.836	0.000
R08	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000
R11	0.708	0.000	0.195	0.138	0.010	0.560	0.000	0.000	0.000	0.292	0.773	1.890	0.000
R12	0.708	0.000	0.121	0.085	0.001	0.622	0.000	0.000	0.000	0.292	2.252	1.844	0.000
R15	0.708	0.000	0.151	0.108	0.008	0.594	0.000	0.000	0.000	0.292	0.571	1.169	0.000
R16	0.708	0.000	0.075	0.052	0.005	0.625	0.000	0.000	0.000	0.292	0.310	0.703	0.000
R19	0.708	0.000	0.084	0.060	0.007	0.642	0.000	0.000	0.000	0.292	0.486	1.223	0.000
R20	0.708	0.000	0.101	0.071	0.012	0.625	0.000	0.000	0.000	0.292	0.248	0.706	0.000
R21	0.708	0.000	0.123	0.087	0.020	0.602	0.000	0.000	0.000	0.292	2.790	1.958	0.000
R23	0.708	0.000	0.069	0.049	0.006	0.654	0.000	0.000	0.000	0.292	0.236	0.635	0.000
R24	0.708	0.000	0.119	0.084	0.017	0.607	0.000	0.000	0.000	0.292	0.396	0.803	0.000
R25	0.708	0.000	0.139	0.098	0.008	0.602	0.000	0.000	0.000	0.292	0.564	1.351	0.000
R27	0.708	0.000	0.067	0.048	0.013	0.648	0.000	0.000	0.000	0.292	0.217	0.589	0.000
R28	0.708	0.000	0.118	0.084	0.014	0.611	0.000	0.000	0.000	0.292	0.435	0.978	0.000

Obrázek 68: Délky front u zdrojů

- Další analýza zahrnovala průměrné čekací doby ve frontě. Nejdelší průměrná čekací doba je u zdrojů B02 a Q01, Q02, Q03. Souhrn front dávek ve výrobním systému je na Obrázku 69.



Obrázek 69: Průměrné čekací doby ve frontě

- **Analýza zdroje a skupiny zdrojů podle délky přeseřizovacích časů** - Zdroje Q01, Q02, Q03 vykazují nejdelší přeseřizovací časy.

Po ukončení simulačního běhu bylo zjištěno, že měsíční produkce za červen 2014 se vyrábí až do 4.8.2014 21:18:41. Tento problém byl diskutován s manažery podniku. Ve skutečném provozu dochází k neplnění termínů z důvodu nedostatku kapacit.

Alternativa 001

Pro zdroje Q01, Q02, Q03, které vykazují nejdelší přeseřizovací časy, je nastaven selekční algoritmus Min Setup Time. Ze skupin, ve kterých jsou použity tyto zdroje, je vybrán zdroj nevyžadující seřízení nebo zdroj, jehož čas seřízení je minimální v porovnání s časy seřízení u ostatních dávek z front.

Měsíční produkce za červen 2014 se vyrábí do 7.7.2014 18:13:12.

Alternativa 002

V této alternativě je aplikován algoritmus Min Setup Time for Resource Group. Není dosaženo zlepšení oproti Alternativě 000.

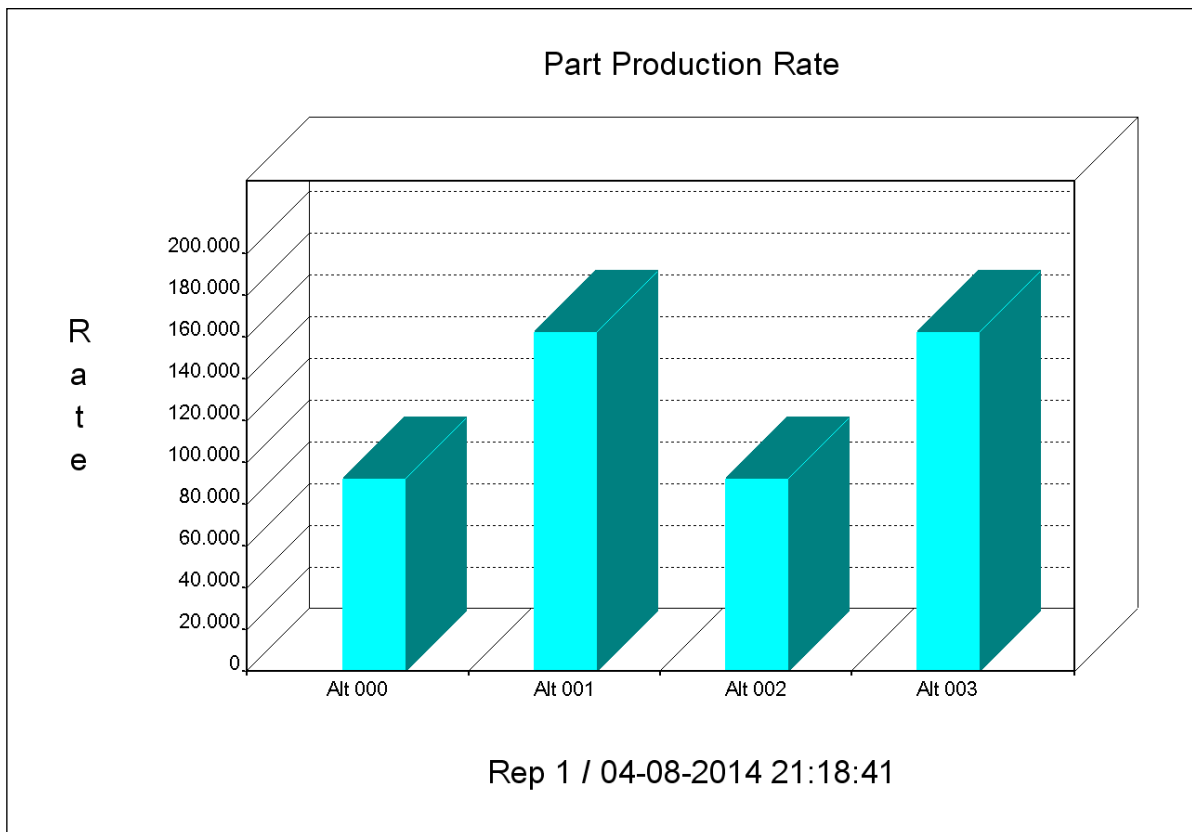
Alternativa 003

V této alternativě je aplikován algoritmus Min Setup Time pro všechny zdroje. Výsledek je podobný jako u Alternativy 001.

8.8.3 Porovnání alternativ simulačního modelu

Byli porovnávány následující parametry:

- Výrobnost (Production Rate) – Alternativa 001 a 003 vykazují nejvyšší výrobnost, a to cca 161465 ks/hod. Je zřejmý markantní rozdíl oproti alternativě 000 a 002, jejichž výrobnost je pouze 91470 ks/hod (viz Obrázek 70 a 71).



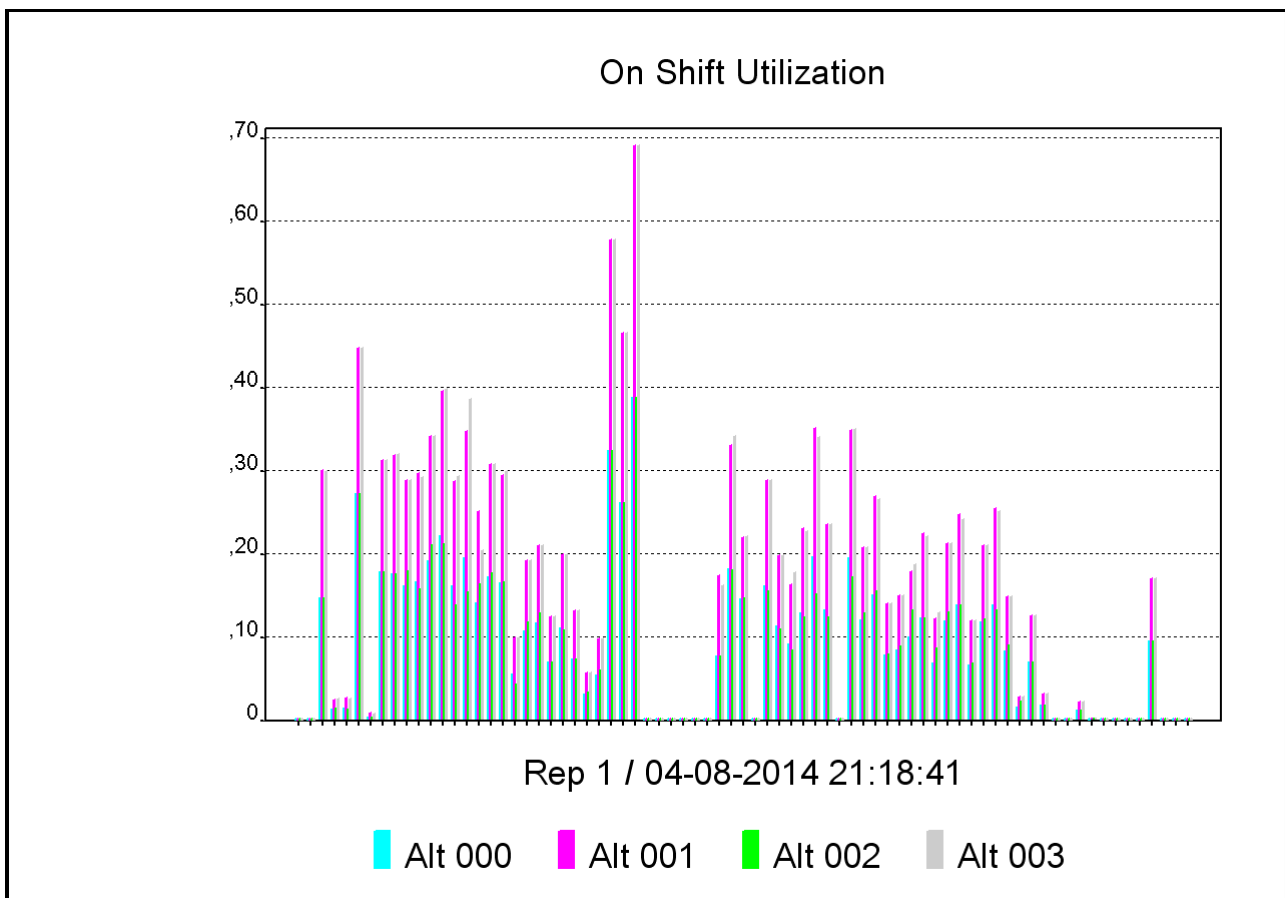
Obrázek 70: Grafické zobrazení PR alternativ

Reporter - Alternatives 000,001,002,003 - [Alternative Summary]																
Project: SYTELINE APS VIRTUAL PLANNING Project Completion Date: 04-08-2014 21:18:41																
Alternative: 000 - Earliest Due Date: Global Select in Sequence																
Alternative: 001 - Earliest Due Date: Q01-Q02-Q03 Min Setup Time																
Alternative: 002 - Earliest Due Date: Resource Group- Min Setup Time																
Alternative: 003 - Earliest Due Date: All Resources- Min Setup Time																
Alt	Simulation Time	Orders				Order Cycle Time				Order Lateness				Order		
		Number Released	Number Completed	Number Late	Percent Late	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	Std Dev	
000	1557.311	51616	51616	51240	99.272	245.821	261.704	0.000	851.265	245.821	261.704	0.000	851.265	247.625	261.810	
001	882.220	51616	51616	51185	99.165	11.951	20.077	0.000	249.416	11.951	20.077	0.000	249.416	12.051	20.131	
002	1557.311	51616	51616	51239	99.270	245.787	261.730	0.000	851.265	245.787	261.730	0.000	851.265	247.596	261.837	
003	882.227	51616	51616	51185	99.165	12.271	20.421	0.000	250.165	12.271	20.421	0.000	250.165	12.375	20.475	

Alternatives 000,001,002,003 - [Alternative Summary]																
Input Output Options Window Help																
Order	Waiting Time				Processing Time				Average Number of Loads				Part Summary			
	Minimum	Maximum	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Waiting	Processing	In System	Total Produced	Production Rate	
0.003	851.265	244.466	261.630	0.000	851.099	1.356	4.047	0.000	168.000	8102.646	44.924	8147.570	142448230	91470.622		
0.011	249.416	10.629	19.688	0.000	249.249	1.322	4.031	0.000	168.000	621.856	77.340	699.196	142448230	161465.679		
0.003	851.265	244.433	261.655	0.000	851.099	1.354	4.046	0.000	168.000	8101.567	44.884	8146.450	142448230	91470.622		
0.011	250.165	10.950	20.035	0.000	249.999	1.321	4.031	0.000	168.000	640.652	77.309	717.962	142448230	161464.412		

Obrázek 71: Výrobnost alternativ v textové podobě

- Využití zdrojů – Při porovnání využití zdrojů u jednotlivých alternativ byla určena úzká místa výrobního systému. Tato informace je na požádání zadavatele studie utajená. Příklad grafického a textového výstupu využití zdrojů je na Obrázku 72 a 73.



Obrázek 72: Grafické vyjádření využití zdrojů u jednotlivých alternativ

Report: Alternativy 000,001,002,003 [Resource Summary]

Project: SYTIME APS VIRTUAL PLANNING Project: Global Select in Sequence Completion Date: 04-08-2014 21:18:41
 Alternative: 001 - Earliest Due Date: 001-002-003 Min Setup Time Replicates: 1
 Alternative: 002 - Earliest Due Date: Resource Group: Min Setup Time
 Alternative: 003 - Earliest Due Date: All Resources- Min Setup Time

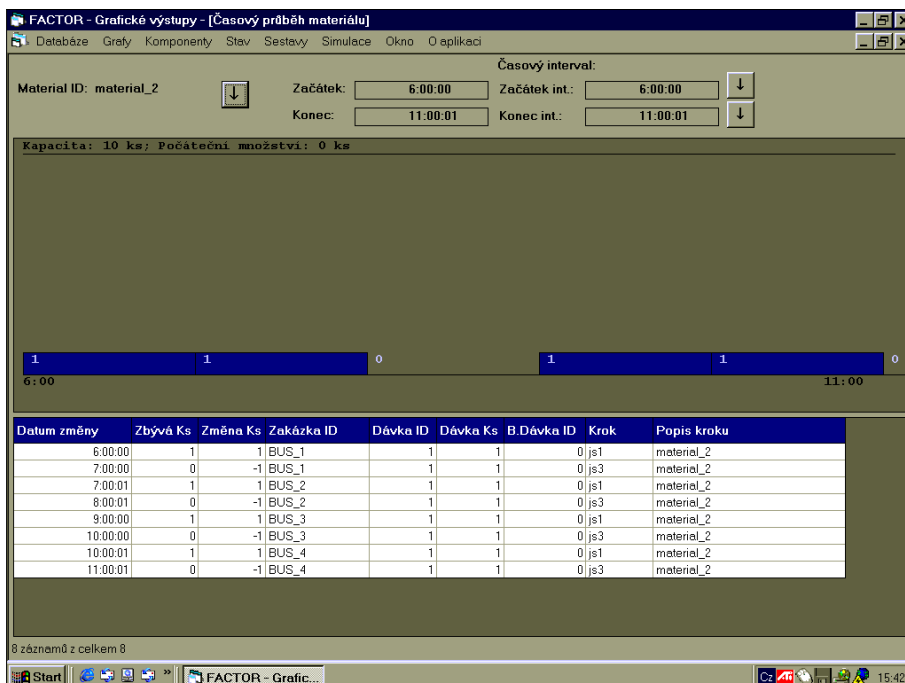
Alt	Resource	Proportion			States							Queue Length					
		Scheduled	Overtime	On Shift	Busy	Setup	Idle	Breakdown	Maintenance	Blocked	Off Shift	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	Std
000	M03	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
001	M03	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
002	M03	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
003	M03	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
000	PC	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
001	PC	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
002	PC	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
003	PC	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
000	PM4	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
001	PM4	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
002	PM4	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
003	PM4	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
000	Q01	0.768	0.000	0.078	0.055	0.579	0.075	0.000	0.000	0.000	0.292	559.806	427.795	0.000	1339.000	384.897	241.1
001	Q01	0.763	0.000	0.173	0.122	0.349	0.223	0.000	0.000	0.000	0.297	25.460	20.334	0.000	113.000	10.025	11.1
002	Q01	0.768	0.000	0.078	0.055	0.579	0.084	0.000	0.000	0.000	0.292	559.839	427.752	0.000	1339.000	384.920	241.1
003	Q01	0.763	0.000	0.151	0.112	0.255	0.224	0.000	0.000	0.000	0.297	25.445	20.329	0.000	113.000	10.019	11.1
000	Q02	0.768	0.000	0.182	0.129	0.500	0.080	0.000	0.000	0.000	0.292	592.267	451.723	0.000	1414.000	395.395	241.1
001	Q02	0.763	0.000	0.330	0.232	0.235	0.236	0.000	0.000	0.000	0.297	30.361	31.582	0.000	121.000	11.216	11.1
002	Q02	0.768	0.000	0.182	0.129	0.498	0.082	0.000	0.000	0.000	0.292	592.241	451.680	0.000	1414.000	395.417	241.1
003	Q02	0.763	0.000	0.341	0.240	0.229	0.234	0.000	0.000	0.000	0.297	30.750	30.492	0.000	118.000	11.360	11.1
000	Q03	0.768	0.000	0.146	0.104	0.520	0.085	0.000	0.000	0.000	0.292	457.728	349.992	0.000	1093.000	387.194	241.1
001	Q03	0.763	0.000	0.185	0.135	0.272	0.276	0.000	0.000	0.000	0.297	19.583	21.632	0.000	83.000	9.371	11.1
002	Q03	0.768	0.000	0.147	0.104	0.519	0.085	0.000	0.000	0.000	0.292	457.761	349.949	0.000	1093.000	387.222	241.1
003	Q03	0.763	0.000	0.221	0.155	0.277	0.271	0.000	0.000	0.000	0.297	19.227	20.807	0.000	73.000	9.239	11.1
000	Q12	0.768	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
001	Q12	0.763	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
002	Q12	0.768	0.000	0.000	0.000	0.768	0.000	0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
003	Q12	0.763	0.000	0.000	0.000	0.763	0.000	0.000	0.000	0.000	0.297	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
000	R01	0.768	0.000	0.162	0.115	0.009	0.586	0.000	0.000	0.000	0.292	0.485	1.129	0.000	5.000	14.253	11.1
001	R01	0.763	0.000	0.288	0.202	0.014	0.487	0.000	0.000	0.000	0.297	0.856	1.390	0.000	5.000	14.253	11.1
002	R01	0.768	0.000	0.156	0.110	0.005	0.576	0.000	0.000	0.000	0.292	0.443	1.059	0.000	5.000	12.916	11.1
003	R01	0.763	0.000	0.288	0.202	0.014	0.487	0.000	0.000	0.000	0.297	0.854	1.391	0.000	5.000	14.223	11.1
000	R02	0.768	0.000	0.114	0.081	0.011	0.616	0.000	0.000	0.000	0.292	0.440	0.910	0.000	4.000	13.170	11.1
001	R02	0.763	0.000	0.198	0.139	0.020	0.544	0.000	0.000	0.000	0.297	0.791	1.052	0.000	4.000	13.166	11.1
002	R02	0.768	0.000	0.110	0.078	0.009	0.621	0.000	0.000	0.000	0.292	0.449	0.914	0.000	4.000	13.180	11.1
003	R02	0.763	0.000	0.198	0.139	0.020	0.544	0.000	0.000	0.000	0.297	0.789	1.104	0.000	4.000	13.151	11.1
000	R03	0.768	0.000	0.092	0.065	0.007	0.637	0.000	0.000	0.000	0.292	0.461	1.495	0.000	8.000	19.924	21.1
001	R03	0.763	0.000	0.163	0.115	0.012	0.576	0.000	0.000	0.000	0.297	0.813	1.912	0.000	8.000	19.924	21.1
002	R03	0.768	0.000	0.085	0.060	0.005	0.644	0.000	0.000	0.000	0.292	0.448	1.509	0.000	8.000	20.226	21.1
003	R03	0.763	0.000	0.177	0.124	0.012	0.567	0.000	0.000	0.000	0.297	0.815	1.892	0.000	7.000	19.965	21.1
000	R04	0.768	0.000	0.129	0.092	0.009	0.608	0.000	0.000	0.000	0.292	0.588	1.972	0.000	9.000	20.799	21.1
001	R04	0.763	0.000	0.230	0.162	0.015	0.526	0.000	0.000	0.000	0.297	1.037	2.251	0.000	9.000	20.799	21.1
002	R04	0.768	0.000	0.124	0.088	0.005	0.615	0.000	0.000	0.000	0.292	0.553	1.888	0.000	9.000	20.989	21.1
003	R04	0.763	0.000	0.227	0.159	0.014	0.530	0.000	0.000	0.000	0.297	1.033	2.364	0.000	9.000	20.794	21.1

Obrázek 73: Využití jednotlivých zdrojů u všech alternativ

8.9 ANALÝZA ZÁSOBOVACÍHO PROBLÉMU

8.9.1 Definice problému

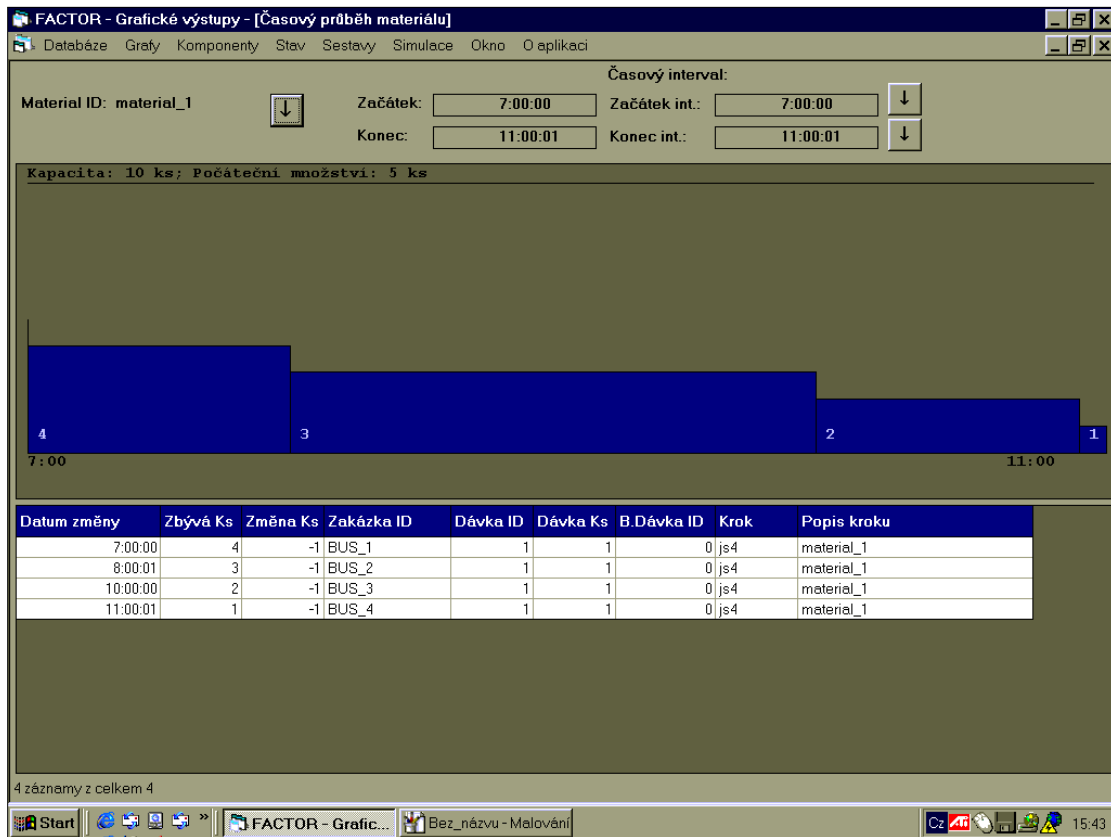
Je dána skupina pracovišť PR1, PR2, až PRn a na každém pracovišti je vyžadován materiál (např. pro montáž) M1, M2, až Mn. Požadavky na materiál u každého pracoviště jsou generovány podle zakázky (dávky), která je tam zpracovávána. Časový průběh požadavků na materiál může vypadat například jako na Obrázku 80.



Obrázek 80: Časový průběh požadavků na materiál - výstup z plánovacího systému SIMPLAN

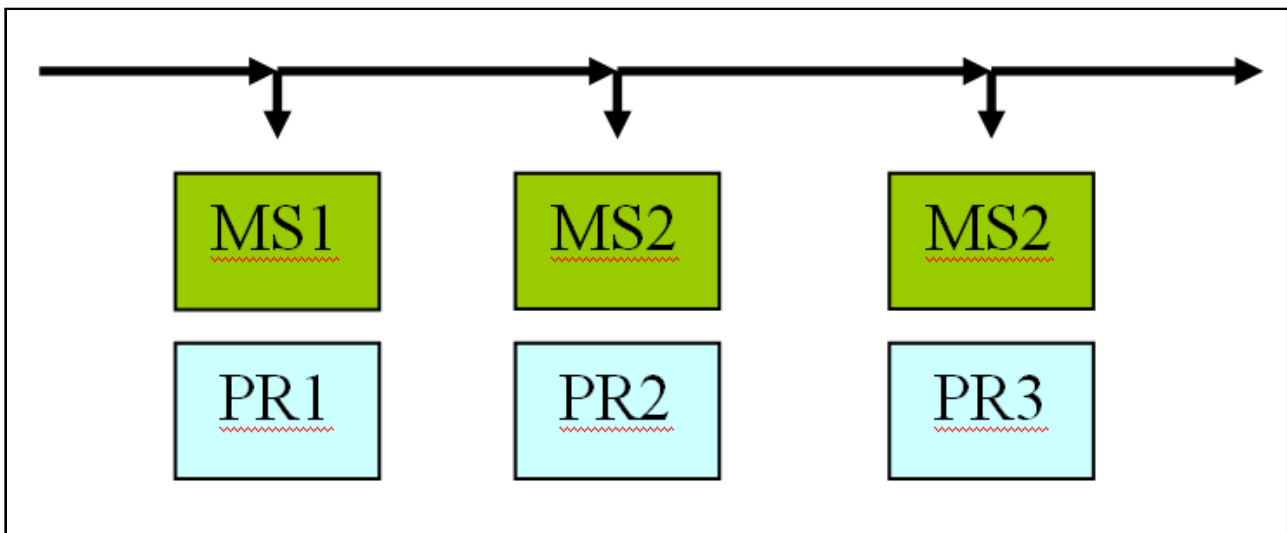
U každého pracoviště je omezený prostor pro ukládání materiálů – mezisklad s určitou kapacitou (MS1, MS2, až MSn). Materiál je dopravován v paletách (PA1, PA2, až PAn), tj. může nastat sdružování:

- Stejných materiálů
- Různých materiálů
- Časový průběh úbytku materiálu v paletě může vypadat například jako na Obrázku 81.



Obrázek 81: Časový průběh úbytku materiálu v paletě - výstup z plánovacího systému SIMPLAN

Dopravu materiálů (viz Obrázek 82) zajišťuje dopravní systém, který má určitá omezení (např. kapacitní apod.)



Obrázek 82: Schéma dopravy materiálu

8.9.2 Definice optimalizačního kritéria – kritériální funkce

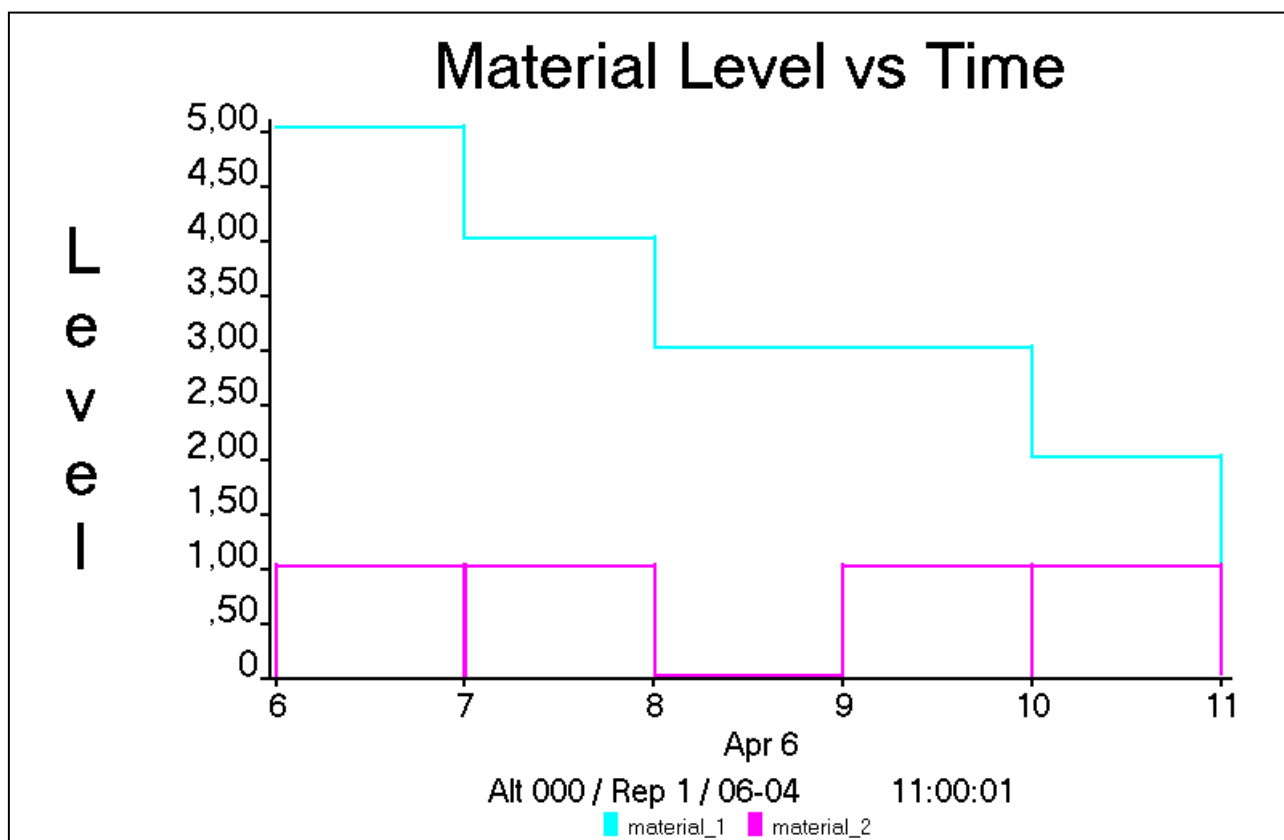
Základním kritériem pro hodnocení zásobovacího problému je, že operace na pracovišti (např. montáž) se nesmí **opozdit z důvodu nedostatku materiálu**. Termín dodání materiálů pro určitou operaci na pracoviště je definován z plánovacího systému. Zpoždění na pracovišti „n“ (ZPO_PR_n), pak lze definovat jako:

$$ZPO_PR_n = \text{abs}(\text{skuteční začátek operace} - \text{plánovaný začátek operace} - ZPO_PR_{n-1})$$

Celkové zpoždění (ZPO_PR_{celk}), pak lze definovat jako:

$$ZPO_PR_{\text{celk}} = \text{abs}(\text{skutečný začátek poslední operace} - \text{plánovaný začátek poslední operace})$$

Další kritérium spočívá v **předstihu dodávky materiálu** na pracoviště (PRE_PR_n). Větší předstih znamená větší náklady na profinancování materiálu. Dodávka materiálu na pracoviště v dávkách (např. plné palety) vede k větším nákladům na profinancování materiálů. Na Obrázku 83 udává růžová křivka časový průběh skutečných požadavků na materiál a modrá křivka udává časový průběh úbytku materiálu v paletě. **Rozdíl ploch** pod křivkami, násoben jednotkovými náklady na profinancování materiálu určuje další z optimalizačních parametrů.



Obrázek 83: Hladina materiálu v čase

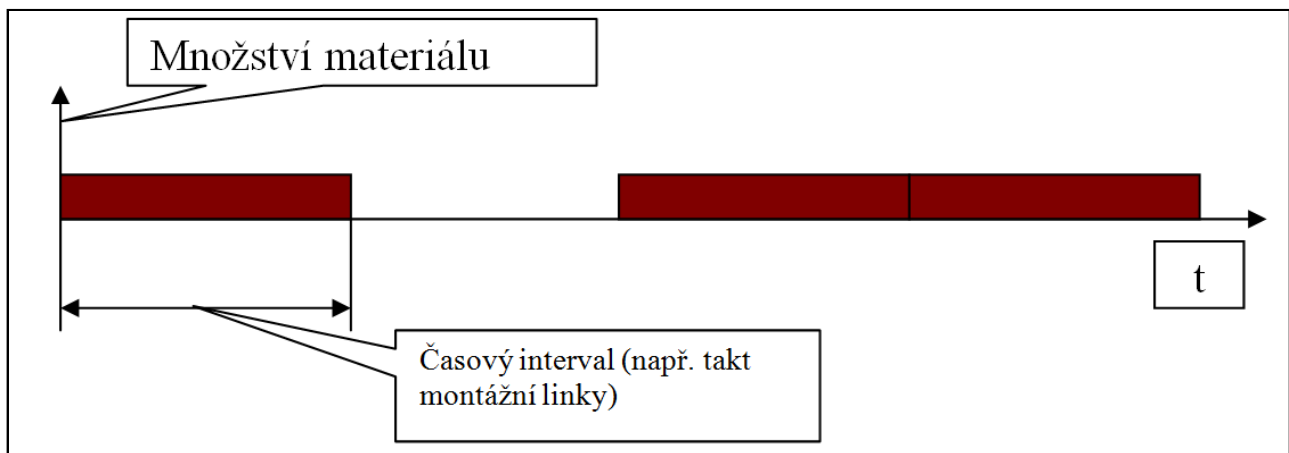
Náklady na dopravu jsou dalším z optimalizačních parametrů. Větší dopravní dávky a méně častý rozvoz by mohli znamenat nižší náklady než menší dopravní dávky a častější rozvoz.

8.9.3 Procesy a hmotné toky při zásobování

- Proces výroba, resp. montáž – je hlavní proces, který řídí ostatní procesy. Začátek procesů montáže na jednotlivých pracovištích se odvozuje od začátku montáže na prvním pracovišti. Začátek montáže na prvním pracovišti je získáván z plánovacího systému.
- Proces rozvozu materiálu na pracoviště - Začátek tohoto procesu se musí realizovat s předstihem. Předstih je další z optimalizačních parametrů.
- Proces návratu prázdných palet - Tento proces je nastartován po vyprázdnění palety.

8.9.4 Algoritmy pro řešení zásobovacího problému

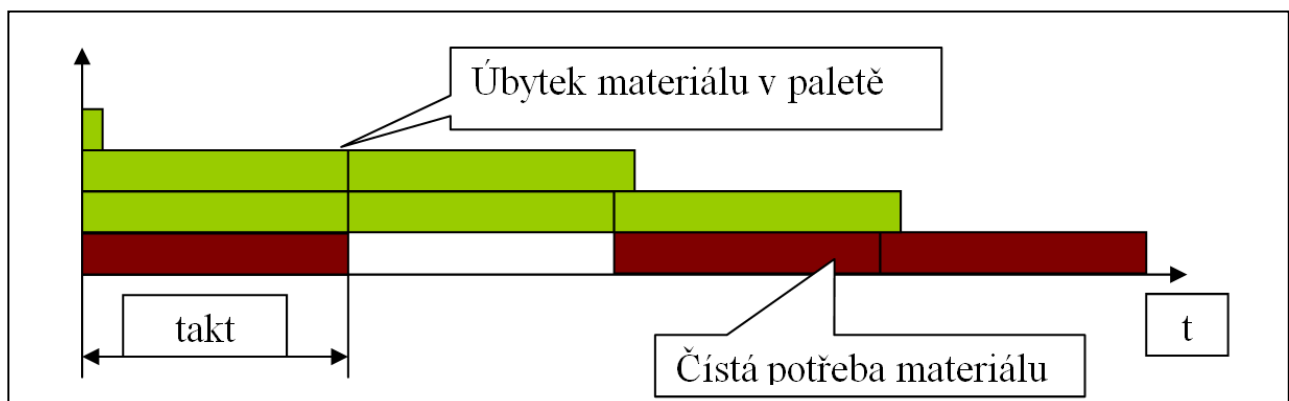
Vstupem do všech algoritmů je posloupnost výrobních (montážních) zakázek. Na základě této posloupnosti je vygenerován rozvrh spotřeby jednotlivých materiálů na každém pracovišti (viz Obrázek 84). Tento rozvrh je získáván z řídicího systému nebo může být vygenerován pomocí simulačního modelu. Jedná se o „čistou“ spotřebu, tj. neuvažuje se zásobování.



Obrázek 84: Grafické vyjádření spotřeby materiálu na pracovišti

Z hlediska sdružování různých materiálů do transportních dávek mohou nastat 2 případy:

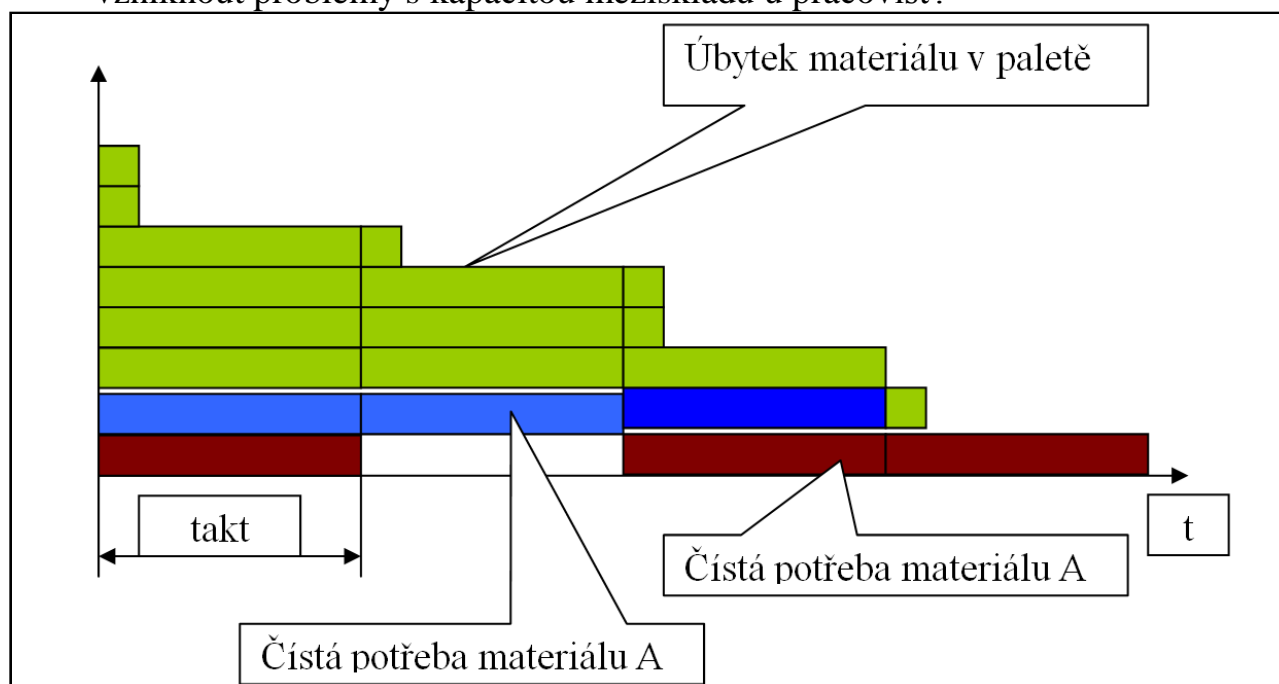
1. Materiály se **nesdružují** – např. do jedné palety může být naložen jenom jeden druh materiálu. Transportní dávka se vytváří tak, že se doveze materiál za určité období (např. 4 takty), nebo se doveze plná paleta. **Vstupní parametr pro optimalizaci je tedy množství materiálu v paletě** (viz Obrázek 85).



Obrázek 85: Grafické zobrazení množství materiálu v paletě

- Čím větší je množství materiálu v dopravní dávce, tím méně dopravních úkonů je zapotřebí. Maximální množství je limitováno paletou, nosností transportního zařízení apod.
 - Pokud se každý materiál dopravuje v samostatné paletě a mezisklad u pracoviště má omezenou kapacitu, pak může nastat případ, že se kapacita meziskladu stane omezujícím faktorem a bude nutné sdružovat různé materiály do stejných transportních dávek.
2. **Sdružování** různých materiálů do stejných transportních dávek (viz Obrázek 86)- Sdružování se provádí podle definovaných pravidel, např. stejný typ přepravních palet pro oba materiály. Množství různých materiálů v paletě je

vhodné volit tak, aby se spotřebovalo do stejného časového okamžiku.
V opačném případě zůstává v paletě jenom jeden druh materiálu a mohou vzniknout problémy s kapacitou meziskladu u pracovišť.



Obrázek 86: Množství materiálu na paletě v případě sdružování

V průběhu (nebo raději před začátkem) montáže na jednotlivých pracovištích musí být dostupné všechny materiály. Pokud má každý materiál svou paletu, pak se musí kontrolovat volné místo (kapacita) v meziskladu podle počtu palet.

Kapacita meziskladu musí počítat i z předzasobováním pro další typy produktů, které se mají montovat na stejném pracovišti.

8.9.5 Algoritmus pro paletizaci materiálu ve svařovně

Definovaný algoritmus vychází z následujících předpokladů:

- Paletizace se provádí podle typu palet, tj. do jedné palety se sdružují všechny stejné materiály pro různé typy produktů (materiály vyžadující stejný typ palety).
- V paletě je množství materiálu pro celkový počet produktů. Paleta se rovnoměrně vyčerpává, tj. „poslední“ produkt, pro který je materiál na paletě, paletu úplně vyprázdní.

Algoritmus je podporován úpravami tabulek materiálů a palet v MS Excel. Pro každý materiál se vypočítá poměrný, potřebný objem palety (PPOP) na 1 produkt, který tento materiál zabere v paletě. Např. pokud má paleta kapacitu max. 20 ks, pak na 1 kus připadne $1/20=0,05$ z objemu palety. Pokud jsou na 1 produkt potřeba 2 kusy tohoto materiálu, pak je potřebný objem na 1 kus $0,05*2$.

Pro každý materiál se vypočítá hmotnost konkrétního materiálu na 1 produkt. Vyberou se materiály, které jsou **společné** pro více typů produktů vyráběných

v určitém časovém období. Pokud je určitý materiál specifický pro daný typ produktu a danou paletu (a není stanoveno jinak), pak se tento materiál dá na samostatnou paletu. Pro takto vybrané materiály a typy produktu se sečtou PPOP a určí se, kolik kompletních produktů se vejde do 1 palety. Např.: PPOP = 0,194, pak $1/0,194 = 5,1546\dots$, tj. na paletu se vejde materiál pro 5 kompletních produktů. Samozřejmě manažer může za využití praktických zkušeností zvýšit nebo snížit tento počet. Také je nutné zkontrolovat, jestli není překročena maximální nosnost palety. Pokud se sdružují různé materiály pro různé typy produktů, pak manažer na základě tohoto sdružování a pořadí produktu na lince může předepsat i pořadí ukládání materiálů do palety.

Příklad:

- Pro produkt 107102 na pracoviště 54283 sdružit všechny oblouky do palety N03.
- Spočítat a sečíst objemové poměry: $0,194 + 0,089 = 0,283$.
- $1/0,283 = 3,533\dots$, tj. na 1 paletu se vejde materiál pro 3 kompletní produkty, tj. každé 3 hodiny (takt svařovací linky 1 hod.) se musí dovést 1 paleta N03.

8.9.6 Úloha simulačního modelování při řešení zásobovacího problému

Simulační modelování při řešení zásobovacího problému řeší následující úlohy:

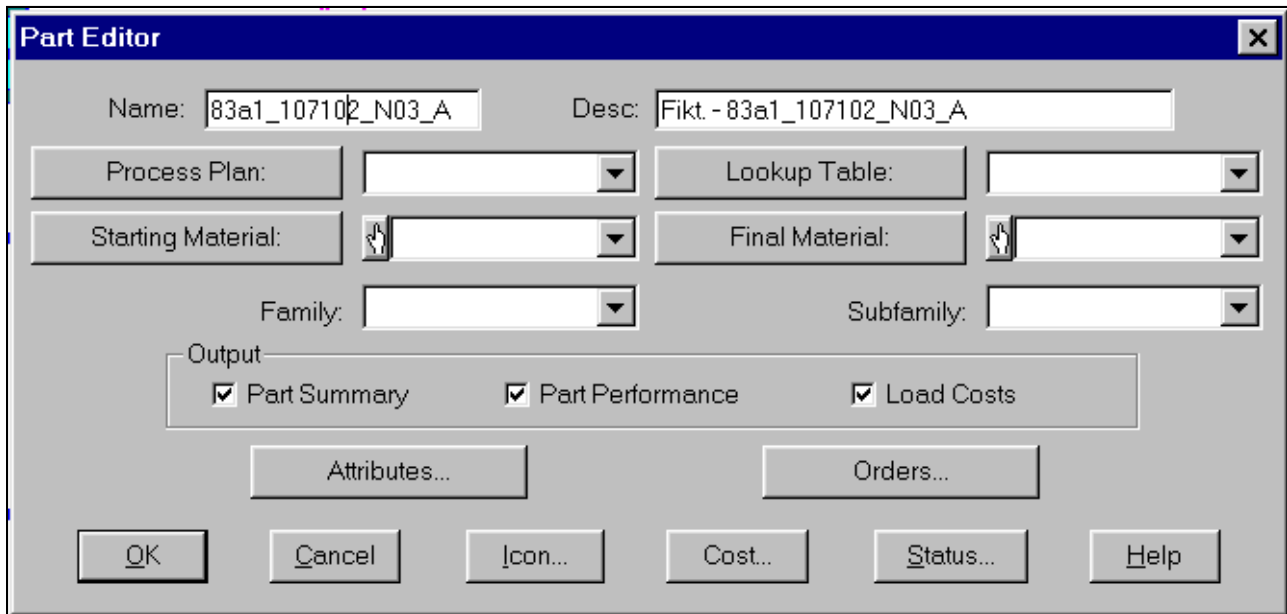
1. Ověřuje návrhy manažerů na zajištění rozvozu materiálů, včetně paletizace a vytváření různých transportních dávek. Simulační model musí být připraven tak, aby umožnil manažerovy zadávat snadno různé alternativy zásobování. Simulační systém by měl umožňovat porovnání těchto alternativ a vybrání nejlepší z nich.
2. Simulační systém ve spojení s optimalizačním modulem generuje různé alternativy a nalézá optimální řešení.

8.9.7 Návod na přípravu a modifikaci simulačního modelu logistických procesů svařovny

Modelové komponenty a datové struktury

Na základě souboru v MS Excel, kde jsou definovány materiály a palety, jsou vygenerovány různé kombinace materiálu do jednotlivých typů palet (paletizace). Do simulačního modelu se pak vloží následující modelové komponenty v tomto pořadí pro každý typ palety:

1. Part (viz Obrázek 87)
 - Name: „pozice_typ produktu nebo SPOL_typ palety_A až Z“
 - pozice – identifikace montážního místa
 - typ produktu nebo SPOL – SPOL se použije, pokud je v paletě materiál pro různé typy produktů
 - typ palety A až Z – rozlišení pro více stejných palet na 1 pracovišti



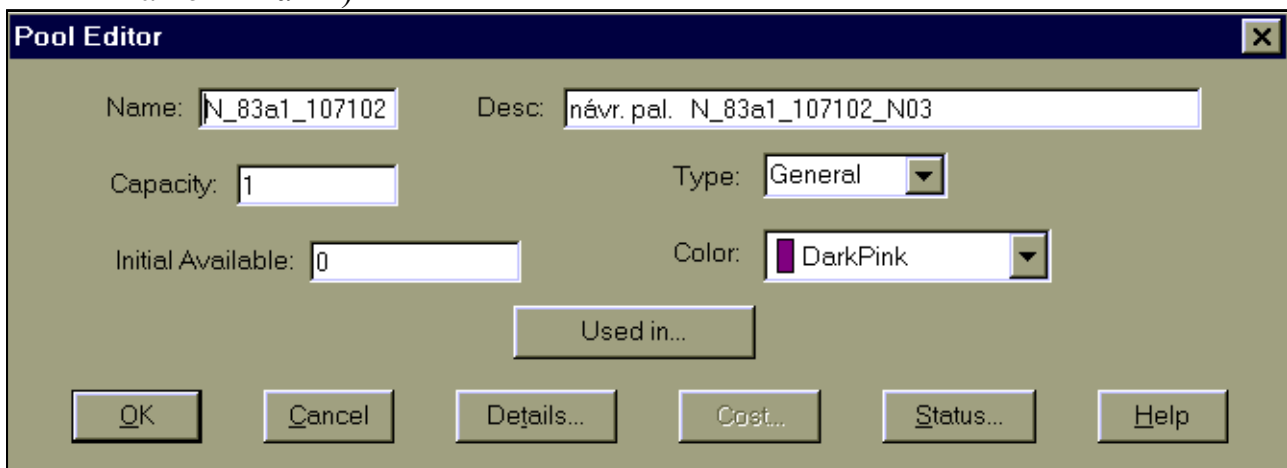
Obrázek 87: Definování produktu

2. Material:

- Name: „pozice _typ produktu nebo SPOL _typ palety_A až Z“ (Stejně jako u „Part“)

3. Pool: - pro návrat palety (viz Obrázek 88)

- Name: „N _pozice _typ produktu nebo SPOL _typ palety“ (Stejný „Name“ jako u „Part“ s výjimkou N, kde N znamená, že je použit pro návrat palety a není A až Z)



Obrázek 88: Definování komponenty Pool

4. Lookup Table FikMat – doplní se fiktivní materiál (fiktivní materiál, který vzniká kombinací různých materiálů na paletě (paletizace)).

- Hmotnost – na 1 produkt (není to celková hmotnost palety).

5. Process Plan – pro nastartování návratu palety

- Name: „N _pozice _typ produktu nebo SPOL _typ palety“ (Stejný „Name“ jako u „Pool“)

6. Pull – pro návrat palety (viz Obrázek 89)

- Name: „N _pozice_typ produktu nebo SPOL_typ palety“ (Stejný „Name“ jako u „Pool“)
- Release Rule – Quantity
- Release Value = 1. Určuje předstih v zásobování. Pokud se rovná 1, pak je předstih 1 takt linky (1 hodina), protože po odebrání posledního kusu zbývá časový interval 1 takt na doplnění zásob.
- Material – materiál, jehož úroveň nastartuje tento Pull
- Ostatní nastavení je zřejmé z modelu

The image shows two overlapping dialog boxes from a software application. The top dialog is titled "Pull Editor" and contains the following fields and controls:

- Name: N_83a1_107102_N03
- Desc: návrat pal. N_83a1_107102_N03
- Number of Parts to Release: Expr: 1.0
- Number of Parts Per Load: Expr: 1.0
- Release Rule: Quantity (dropdown)
- Material: N_83a1_107102_N0 (dropdown)
- Release Value: 1
- Part: obecný (dropdown)
- Buttons: OK, Cancel, Details..., Cost..., Help

The bottom dialog is titled "Pull Detail Editor" and contains the following fields and controls:

- Name: N_83a1_107102_N03_
- Desc: návrat pal. N_83a1_107102_N03
- Expected:
 - Output: 1
 - Cycle Time: 0
 - Output of In-process Loads: 0
- Process Plan: N_83a1_107102_N03_A (dropdown)
- Priority: 0
- Excess:
 - Add
 - New
 - Whole
- Output:
 - Order Performance
 - Load Performance
- Buttons: OK, Cancel, Help

Obrázek 89: Definice komponenty Pull pro návrat palety

7. Process Plan – pro dovoz palety (viz Obrázek 90)

- Name: „D _pozice_typ produktu nebo SPOL_typ palety_A až Z “ (Stejný „Name“ jako u „Part“ až na „D “, jako dovoz palety)
- Množství materiálů je v procesním kroku „Manufacture“ a je vždy na 1 produkt (Basis/Part)

Process Plan Editor						Process Plan Editor					
Name: D_83a1_107102_N03		Desc: Doprava z POI do 542-83a1 a zp				Name: N_83a1_107102_N03		Desc: uvol. sem. 83a1_107102_N03_A			
First: js1						First: js1					
Name	Type	Description	Next	Alternate		Name	Type	Description	Next	Alternate	
js1	Operation	Alokace zdrojů	js2			js1	Operation	Uvolnění semaforu	js2		
js2	Move-Between	POI - tcp4	js3			js2	Operation	zabrání semaforu			
js3	Move-Between	tcp4 - 542-83a1	js4								
js4	Assign	CelDelPr, PocJizCe, tunoKM	js5								
js5	Manufacture	Přidej do materiálu	js6								
js6	Operation	navrat_palety ?	js7								
js7	Move-Between	542-83a1 - POI									

Obrázek 90: Definice Process Planu pro dovoz palety

8. Pull – pro dovoz palety (viz Obrázek 91)

- Name: „D _pozice_typ produktu nebo SPOL_typ palety_A až Z “ (Stejný „Name“ až na „D “, jako dovoz palety)
- Release Rule – Quantity
- Release Value = 1. Určuje předstih v zásobování. Pokud se rovná 1, pak je předstih 1 takt linky (1 hodina), protože po odebrání posledního kusu zbývá časový interval 1 takt na doplnění zásob.
- Material – materiál, jehož úroveň nastartuje tento Pull
- Number of Parts to Release = Number of Parts per Load. Tento vzorec má za účel dovezení přesného množství materiálu u posledního dovozu. Na konci týdne nezůstává žádný materiál v meziskladech.
- Ostatní nastavení je zřejmé z modelu

Pull Editor

Name: Desc:

Number of Parts to Release:

Number of Parts Per Load:

Release Rule: Material:

Release Value: Part:

Obrázek 91: Definice komponenty Pull pro dovoz palety

Algoritmy řízení toku materiálů

Řízení toku palet je realizováno pomocí PULL. Pokud hladina určitého materiálu (skutečného nebo fiktivního sdružující několik skutečných materiálů podle typu palet nebo dalších pravidel) poklesne pod určitou úroveň, pak se generují dva „pulls“, a to na odvoz prázdné palety a na dovoz plné palety.

8.10 APLIKACE PRO AUTOMATICKÉ GENEROVÁNÍ MOŘÍCÍCH LINEK

Generátor simulačních modelů mořících linek slouží k efektivní práci se simulačním modelem. Tento generátor by měl zjednodušit modelování, a to na základě aplikace, která je vytvořena intuitivně tak, aby její používání nevyžadovalo nutnost znalosti simulačního prostředí. Celá aplikace je vytvořena v simulačním nástroji Tecnomatix Plant Simulation v. 11. Pro práci s aplikací bylo využito prostředí MS Excel 2007.

8.10.1 Definice a změna vstupních parametrů

Aplikace univerzálního simulačního modelu mořící linky slouží k automatickému generování modelu podle zadaných parametrů pomocí množiny tabulek pro zadávání vstupních dat simulačního modelu vytvořené v prostředí MS Excel. Je možné zadat následující vstupní parametry:

- Definice parametrů jeřábu
 - rychlost pojezdu
 - rychlost zdvihu
 - bezpečná vzdálenost mezi jeřáby, pokud jich je více
 - atd.
- Definice mořících van
 - název vany
 - vzdálenost vany od počátku jeřábové dráhy
 - **priorita** operace na konkrétní vaně
 - ikona
 - Definice procesních časů - pro stejnou vanu se mohou lišit, pokud je to vyžadováno (viz Obrázek 92)

A	B
Bath Name	ProcTime
P03	300
P04	5
P05	5
P06	600
P07	600
P08	600
P09	600
P10	600
P11	600
P12	0
P13	5
P14	5
P15	180

Obrázek 92: Definice procesních časů mořících van

- Definice časů na okap
- Definice sekvence operací (mořící plán) - je zahrnut i opakovaný návrat na stejnou pozici. Sekvence operací se může větvit. Různé polotovary mohou mít různý mořící plán (viz Obrázek 93 níže).

A	B	C	A	B	C
Recipe A	From position	To Position	Recipe B	From position	To Position
	Load	P03		Load	P03
	P03	P04		P03	P04
	P04	P05		P04	P05
	P05	P06		P05	P09
	P06	P07		P09	P11
	P07	P13		P11	P13
	P13	P14		P13	P14
	P14	Unload		P14	P15
				P15	Unload

Obrázek 93: Nastavení sekvence operací pro jednotlivé receptury

8.10.2 Import dat do modelu

Tabulky s vstupními daty jsou následně importovány do prostředí Tecnomatix Plant Simulation. Pomocí naprogramovaných algoritmů je automaticky generován layout mořící linky a jsou aplikovány další zadané parametry. Algoritmy pro generování simulačního modelu jsou navrženy univerzálně, aby bylo možné generovat mořící linky s různými vstupními daty. Pro tvorbu metod byl využit programovací jazyk SimTalk, který je součástí SW nástroje. Na Obrázku 94 je ukázka zdrojového kódu metody pro rozdělení procesního plánu receptury.

```

1: is
2:   XDimension:integer;
3:   Ydimension:integer;
4:   XDimension1:integer;
5:   Ydimension1:integer;
6:   i:integer;
7:   a:object;
8:   b:object;
9: do
10:   i:=1;
11:   If SequenceTab/=SequenceTab1 then
12:     XDimension:=SequenceTab.xDim;
13:     YDimension:=SequenceTab.yDim;
14:     XDimension1:=SequenceTab1.xDim;
15:     YDimension1:=SequenceTab1.yDim;
16:
17:
18:     sequenceTab.setCursor(1,1);
19:     sequenceTab1.setCursor(1,1);
20:
21:     while a=b loop
22:       a:=SequenceTab[xDimension,i];
23:       b:=SequenceTab1[xDimension1,i];
24:       if a/=b then
25:         if (Start1=a or Start1=b) then
26:           coilsTU1:=coilsTU1-1;
27:         end;
28:       end;
29:
30:       i:=i+1;

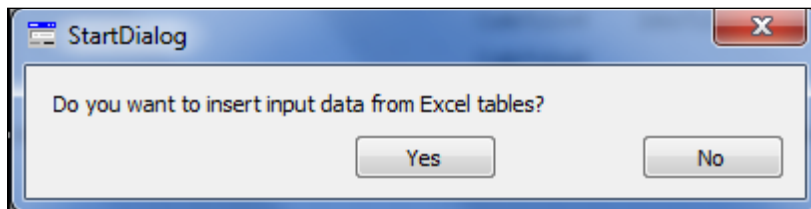
```

Obrázek 94: Metoda v jazyce SimTalk

8.10.3 Ovládání a možnosti aplikace

K účelu snadného ovládání aplikace slouží dialogová okna. Využitím dialogových oken bylo vytvořeno uživatelsky přívětivé prostředí. Dalším důvodem zařazení komponenty „dialogové okno“ pro ovládání aplikace je skutečnost, že pořízení profesionální licence SW je finančně nákladné. Pořízení licence „Viewer“ je dostupnější pro většinu výrobních podniků. Tato licence sice neumožňuje plnohodnotnou práci se SW jako je úprava metod a vkládání nových komponent, nicméně uživatel aplikace je schopen pracovat s dialogovými okny a to je pro ovládání aplikace postačující.

Pomocí ovládacích prvků aplikace lze provést import dat do aplikace (viz Obrázek 95), nastavit a ovládat simulační běh a vygenerovat výstupy jednotlivých simulačních běhů.



Obrázek 95: Dialogové okno pro import vstupních dat

Dále aplikace obsahuje:

- Možnost měnit vstupní parametry a podmínky během simulace
- Možnost sledovat změny parametrů během simulačního běhu (viz Obrázek 96)

Transport=28.7141	LiftTime=7.3000	Start1=*.Modelle.CraneFinal4.Load
w=17:41.5072	T1=17:19.3354	Target1=*.Modelle.CraneFinal4.P03
v=17:19.3354	T11=17:26.6354	CoilsInLine=4 JobsTU1=7
		CoilsTU1=4 JobsTU2=0

Obrázek 96: Vizualizace parametrů v modelu

- Sledování změn expozičních časů během simulace - to je důležité zejména u van s kyselinami a dalších kritických van, aby nedošlo k přemoření polotovaru.
- Možnost nastavit hranice dosahu jeřábu (v případě více jeřábů).
- Upozornění na nedodržení zadané minimální vzdálenosti mezi jeřáby (Obrázek 97)



Obrázek 97: Dialogové okno upozornění na nepovolené sjetí jeřábů

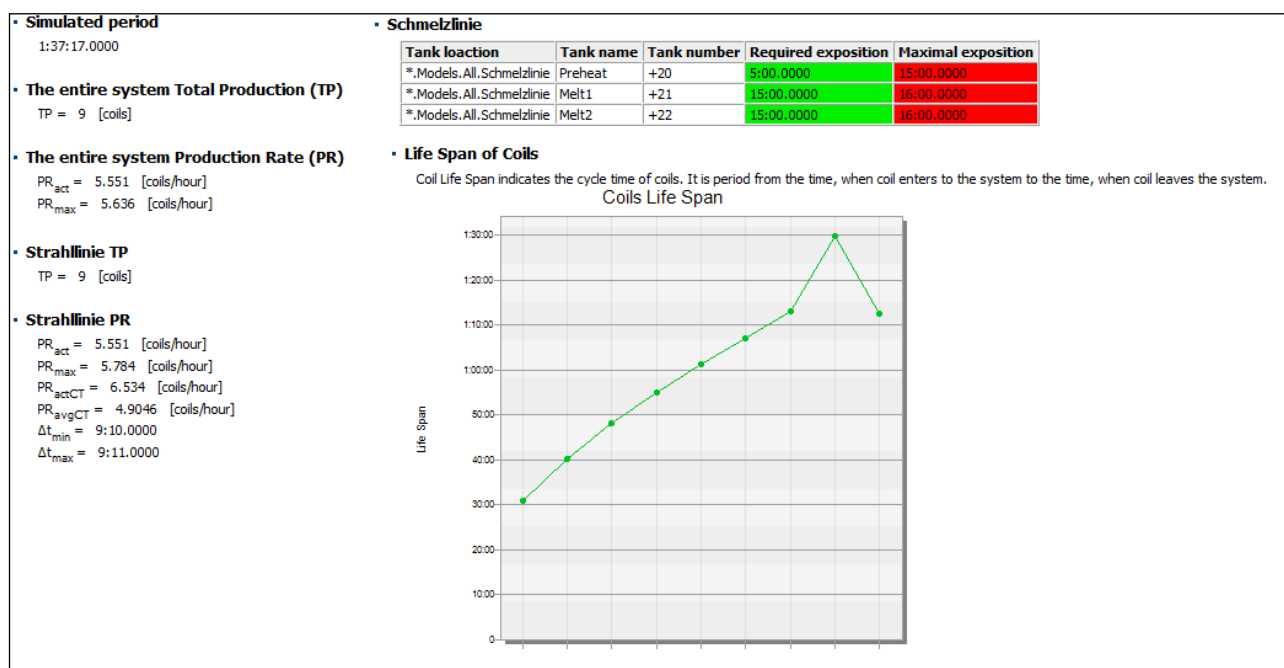
- Zobrazení počtu polotovarů na lince a počtu polotovarů v úseku obsluhovaném jeřábem 1 a 2
- Zobrazení počtu pohybů vykonaných jeřábem 1 a 2
- Zobrazení aktuálního času zdvihu a přesunu jeřábu
- Generování výstupů simulace
- Atd.

8.10.4 Generování výstupních dat

Pro interpretaci a analýzu výstupních dat simulačního běhu je nutné data shromáždit a prezentovat. Výstupní data lze prezentovat v textové podobě, pomocí tabulek a graficky.

Lze generovat jak výstupy jednoho simulačního běhu separátně, tak i více simulačních běhů (pomocí tlačítek). To umožňuje snadné porovnání výsledků simulace s různými vstupními parametry a tedy i provádění experimentů. Jsou vytvořeny dva způsoby zobrazení výstupních parametrů:

1. Výstupy jsou exportovány do tabulek v MS Excel, které umožňují snadnější práci s daty.
2. Výstupy jsou zobrazeny pomocí HTML reportu přímo v simulačním prostředí. HTML report obsahuje i grafické zobrazení dat (viz Obrázek 98).

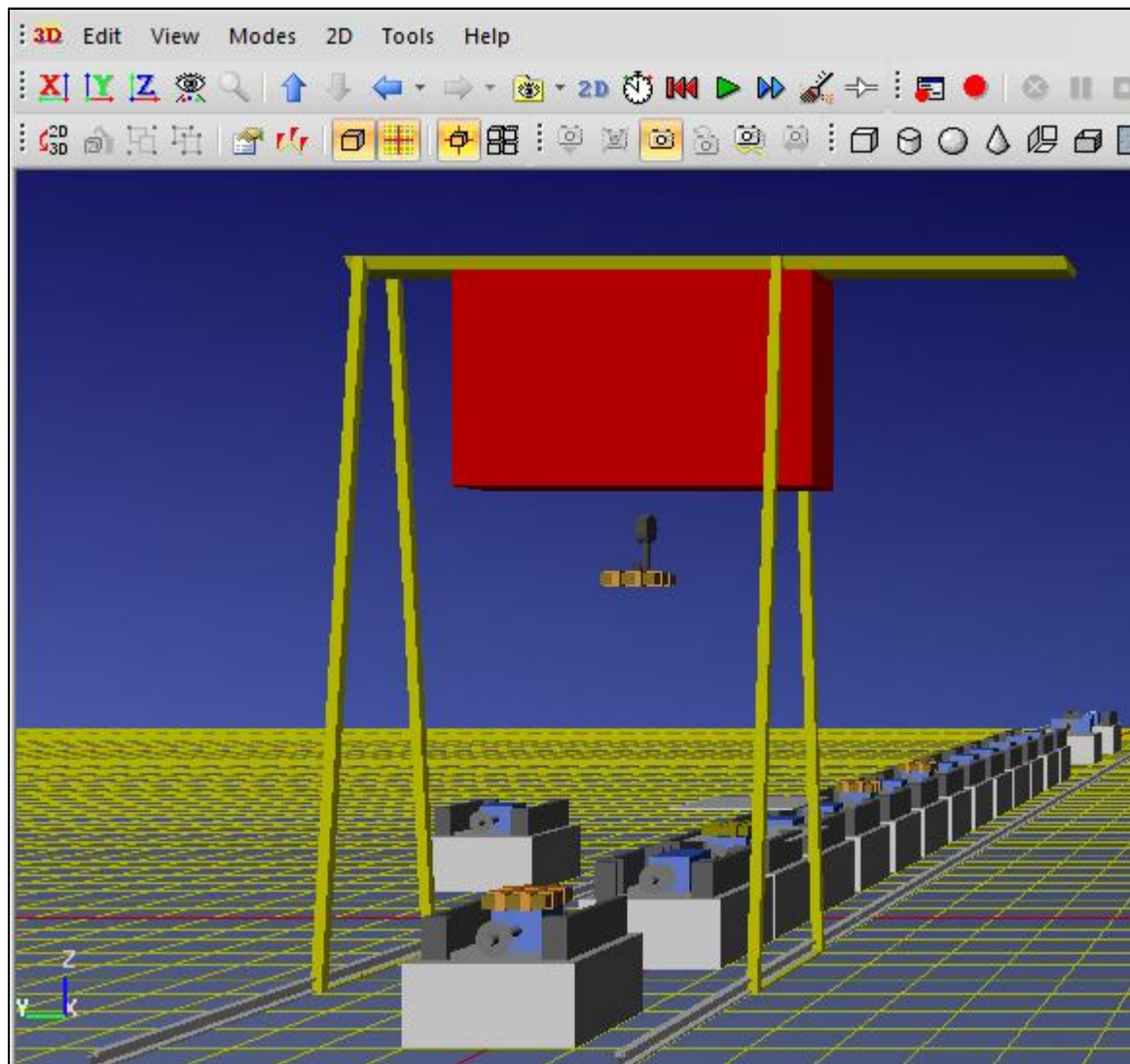


Obrázek 98: Ukázka dat z HTML reportu

8.10.5 Následující vývoj generátoru

Vzhledem k vysokým nárokům na simulaci tohoto specifického výrobního systému je generátor mořících linek stále ve vývoji. V nejbližším období bude v rámci vývoje aplikace zpracováno:

- Rozšíření na více transportních jednotek
- Připojení na ODBC (Open Database Connectivity) rozhraní – umožní se tak komunikace s PLC (Programmable Logic Controller)
- Rozšíření grafických možností 3D zobrazení modelu, které nyní není dokonalé (Obrázek 99).



Obrázek 99: Současné 3D zobrazení simulačního modelu mořící linky

- Dynamické přiřazování priorit na mořících vanách
- Testování aplikace pro různé vstupní údaje v prostředí simulačního nástroje
- Optimalizace metod pro generování simulačních modelů mořících linek
- Vývoj dalších metod a algoritmů pro generování simulačních modelů různých typů výrobních systémů. To navazuje na zpracování univerzálních metod a algoritmů.
- Vývoj dalších modulů pro rozšíření aplikace

8.11 VLIV ROZLOŽENÍ STROJŮ NA ENERGETICKOU NÁROČNOST TRANSPORTNÍHO SYSTÉMU

V této kapitole je popsána simulace výrobního systému, ve kterém je transport polotovarů mezi stroji realizován pomocí transportního systému s jednou transportní jednotkou. Je provedena optimalizace simulačního modelu výrobního systému z hlediska rozložení strojů. Dále je zkoumán vliv této optimalizace na spotřebu energie transportního systému.

8.11.1 Popis výrobního systému

Výrobní systém obsahuje pracoviště Load, které slouží jako stanoviště pro nakládku polotovaru na transportní jednotku a pracoviště Unload, kde jsou polotovary po opracování odkládány a pokračují na expedici. Samotné opracování probíhá na strojích M1, M2, M3, M4 a M5. Procesní časy na jednotlivých stanovištích jsou zobrazeny v tabulce na Obrázku 100.

Název pracoviště	Procesní čas [min]
load	1:00.0000
M1	10:00.0000
M2	12:00.0000
M3	7:00.0000
M4	14:00.0000
M5	5:00.0000
unload	0.0000

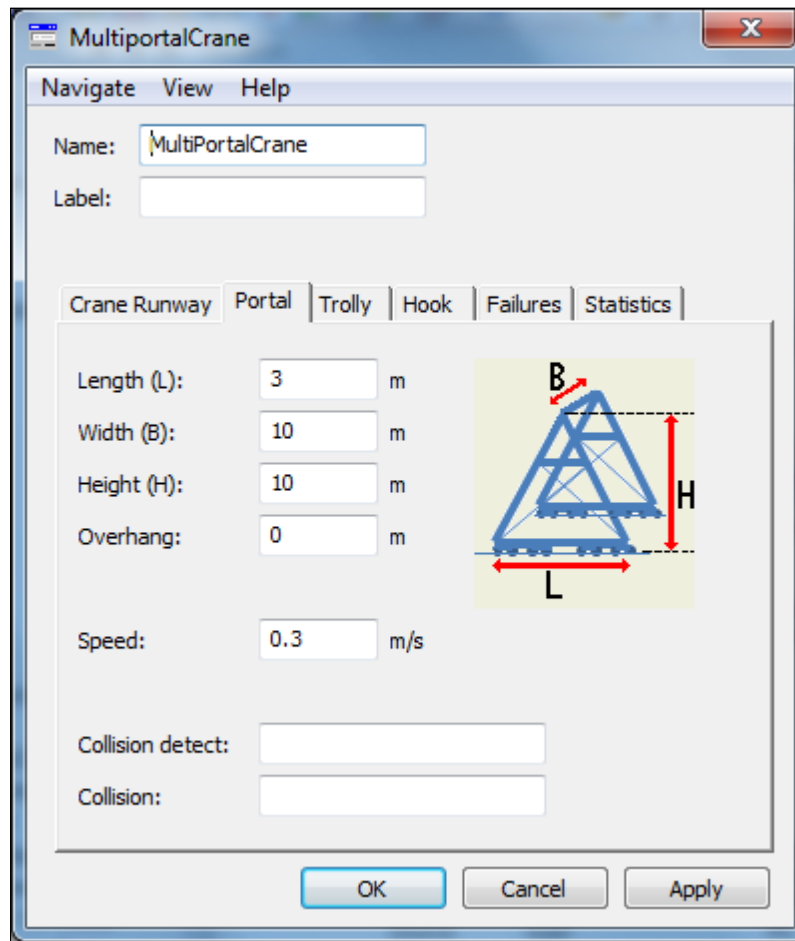
Obrázek 100: Definice procesních časů strojů

Polotovary se opracovávají na jednotlivých strojích dle sekvence, která je definována v tabulce „Recipes“ v modelu (viz Obrázek 101). Po dokončení operace na jednom pracovišti se zapíše požadavek na transport do tabulky „Jobs“. Jakmile je transportní jednotka volná pro další přesun, vybere se z tabulky požadavek podle pravidla FIFO (First In First Out) a je proveden transport.

Recipe B
load
M3
M2
M4
M1
M5
unload

Obrázek 101: Sekvence operací výrobního systému

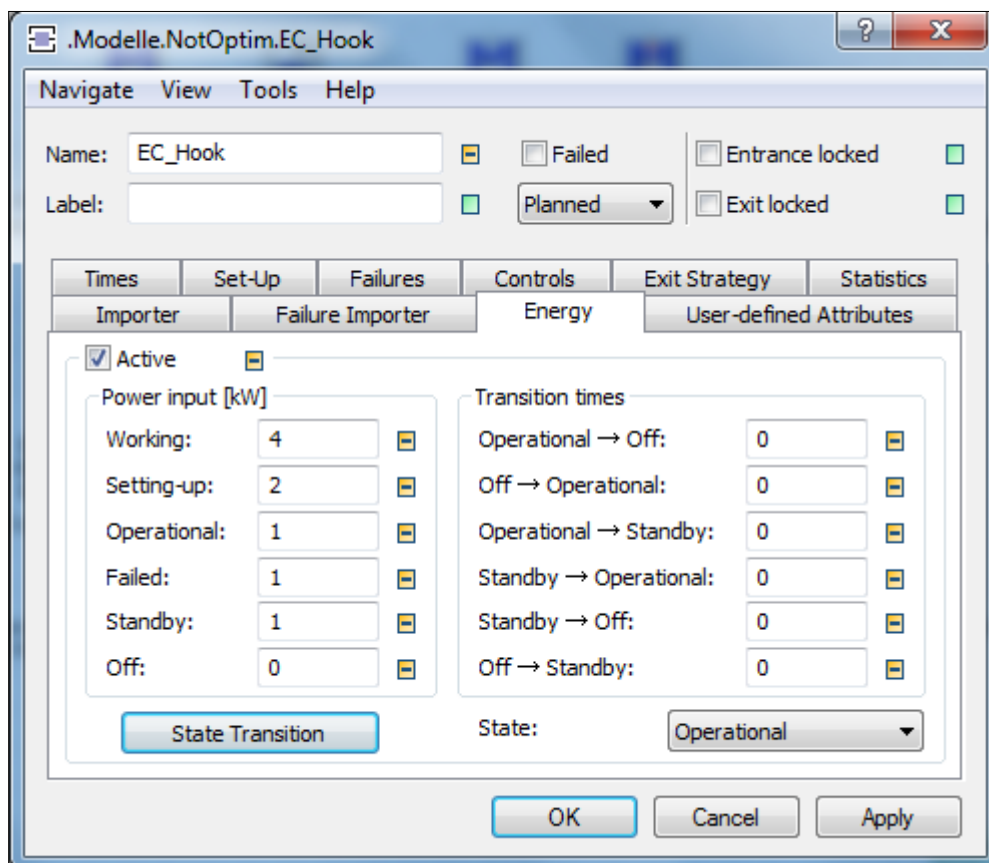
Transportní systém je namodelován pomocí komponenty MultiPortalCrane (MPC). Ta se skládá z portálu, troleje a háku. Pro transportní systém byly nedefinovány vstupní parametry pomocí dialogových oken pro zadávání vstupních parametrů, jako například: Délka a šířka pojezdové dráhy, rozměry portálu, troleje a háku, rychlost pojezdu portálu, rychlost a výška zdvihu háku atd. Na Obrázku 102 je zobrazena definice vstupních parametrů transportního systému.



Obrázek 102: Dialogové okno s definicí vstupních parametrů portálu

8.11.2 Definice energetické spotřeby

Pro jednotlivé části transportního systému (portál, trolej a hák) byla namodelována energetická spotřeba. V dialogu pro definici zařízení v záložce „Energie“ lze zadat nastavení vztahující se k příkonu zařízení pro jednotlivé stavy a k přechodu z jednoho energetického stavu do druhého (viz Obrázek 103).



Obrázek 103: Energetický příkon háku

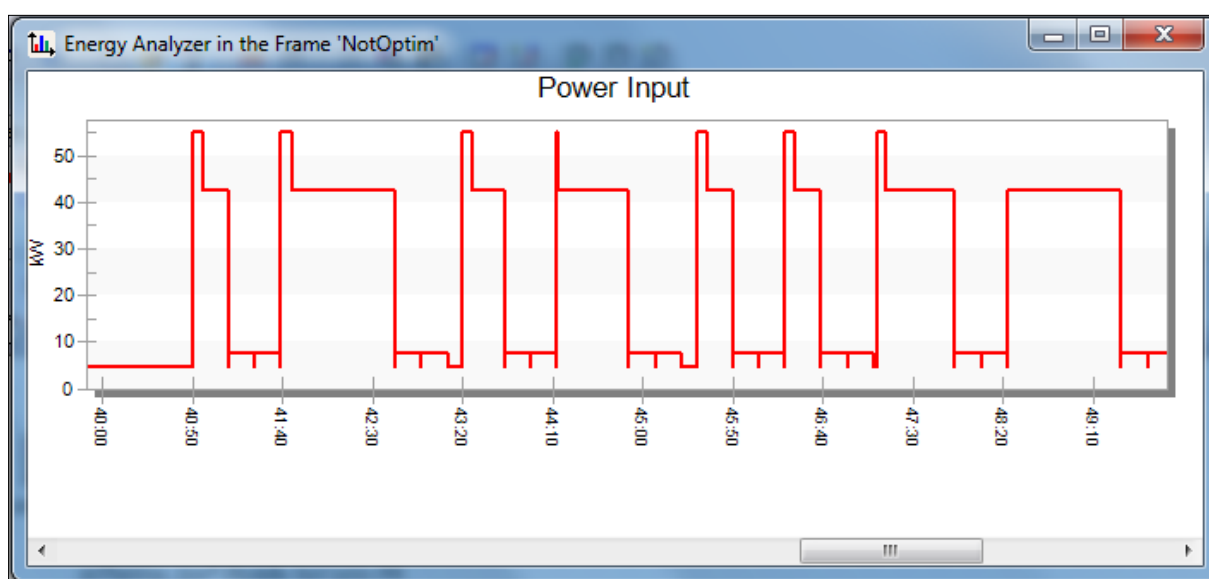
Zařízení může nabývat stavu Working (probíhá opracování), Setting-up (seřizovaný), Operational (dostupný), Failed (má poruchu), Standby (záložní režim) a Off (mim provoz).

Energetické spotřeba na přechod mezi stavy nebyla modelována z důvodu zjednodušení ukázkového modelu. Příkon jednotlivých zařízení v konkrétních stavech je následující:

- Portál
 - Working = 40 kW
 - Setting-up = 4 kW
 - Operational = 2 kW
 - Failed = 1 kW
 - Standby = 2 kW
 - Off = 0 kW
- Trolej
 - Working = 14 kW
 - Setting-up = 1 kW
 - Operational = 1,5 kW
 - Failed = 1 kW
 - Standby = 1,5 kW
 - Off = 0 kW
- Hák
 - Working = 4 kW

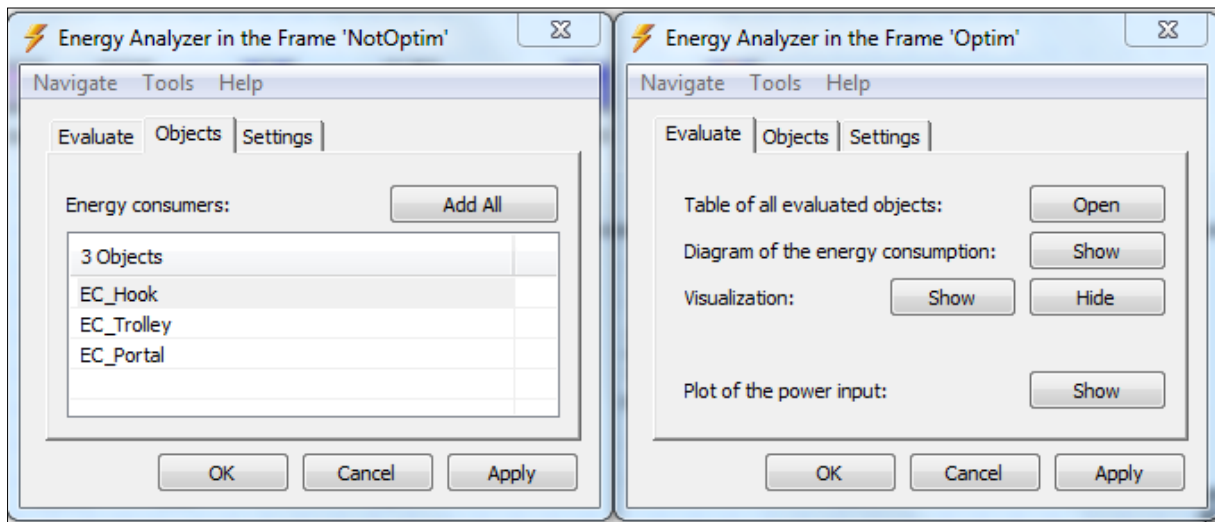
- Setting-up = 2 kW
- Operational = 1 kW
- Failed = 1 kW
- Standby = 1 kW
- Off = 0 kW

Graf na Obrázku 104 zachycuje kolísání energetické spotřeby transportního systému. Změna spotřeby v průběhu času je způsobena jednotlivými pohyby háku, troleje a portálu. Spotřeba energie se liší podle toho, zda se portál přesunuje prázdný nebo s polotovarem, zda se spouští/zdvihá plný nebo prázdný hák a také závisí spotřeba na pohybu troleje.



Obrázek 104: Graf vývoje energetické spotřeby transportního systému

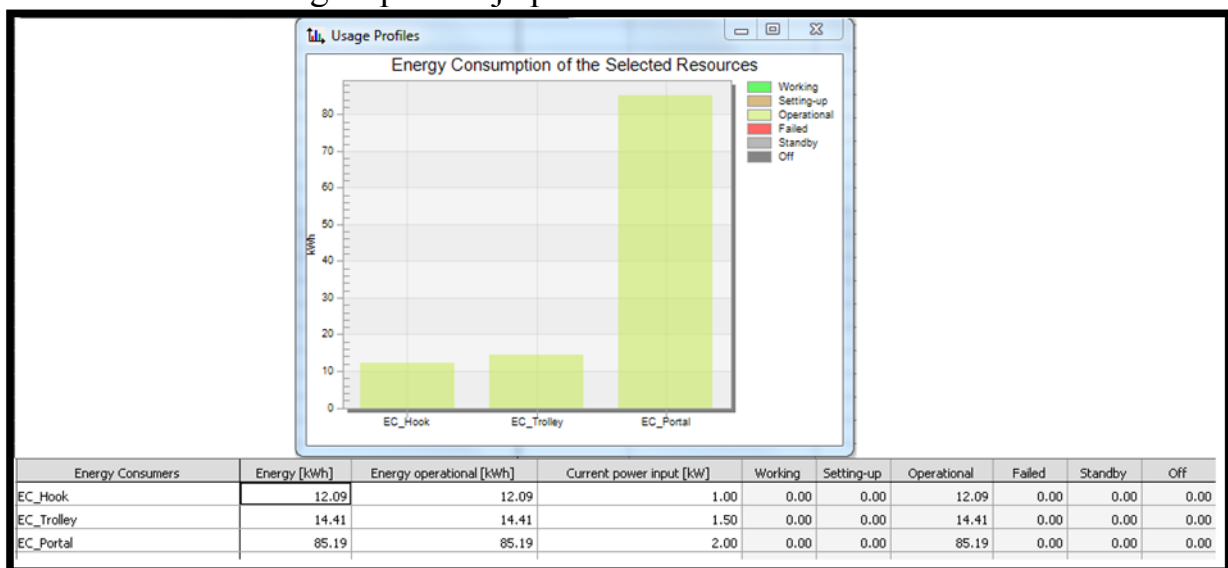
Pro analýzu energetické spotřeby je využit nástroj „EnergyAnalyzer“, neboli Analyzátor energie. Tento nástroj analyzuje spotřebu energie vybraných strojů ve výrobním systému. Pomocí „EnergyAnalyzer“ lze přidat objekty, pro které se mají sbírat data o spotřebě energie (viz Obrázek 105), dále umožňuje zobrazit nashromážděná data o spotřebě energie v tabulce nebo v grafu. Kromě toho lze vizualizovat hodnoty jednotlivých strojů a zobrazit graf shromážděných hodnot v průběhu simulačního běhu.



Obrázek 105: Dialogové okno „EnergyAnalyzer“ a definice sledovaných objektů

8.11.3 Simulace základní alternativy

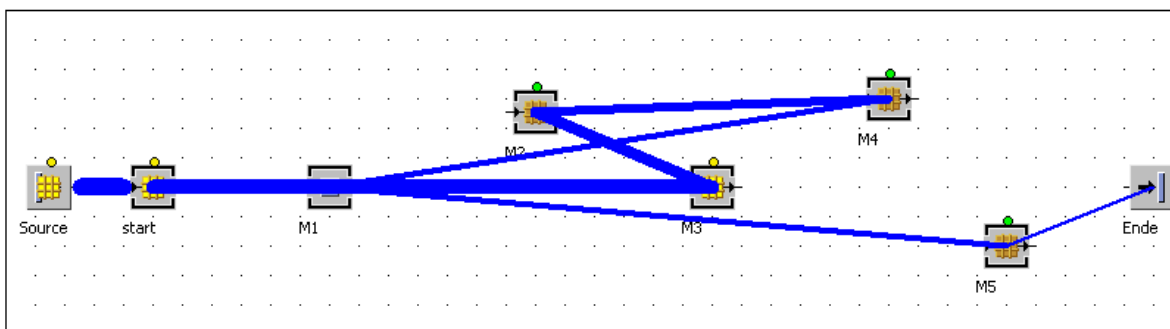
Základní alternativa s výše definovanými vstupními parametry byla simulována po dobu 8 hodin. Během této časové periody byla celková produkce 14 kusů. Výrobnost systému je tedy 2 kusy za hodinu. Celková spotřeba energie transportního systému při příkonu 4,5 kW je 111,7 kWh. Detailní výsledky pro portál, trolej a hák jsou zachyceny v textové a grafické podobě na Obrázku 106. Z těchto výstupů vyplývá, že převážnou většinu energie spotřebuje portál.



Obrázek 106: Graf a tabulka s energetickou spotřebou transportního systému neoptimalizované alternativy modelu

Sankey diagram na Obrázku 107 ukazuje hmotný tok polotovarů ve výrobním systému. Na základě analýzy Sankey diagramu bylo zjištěno, že stávající uspořádání strojů je značně nevýhodné vzhledem k sekvenci operací. Transportní jednotka tak

musí vykonat velké množství pohybů, to znamená, že její spotřeba energie je vysoká (111,7 kWh).

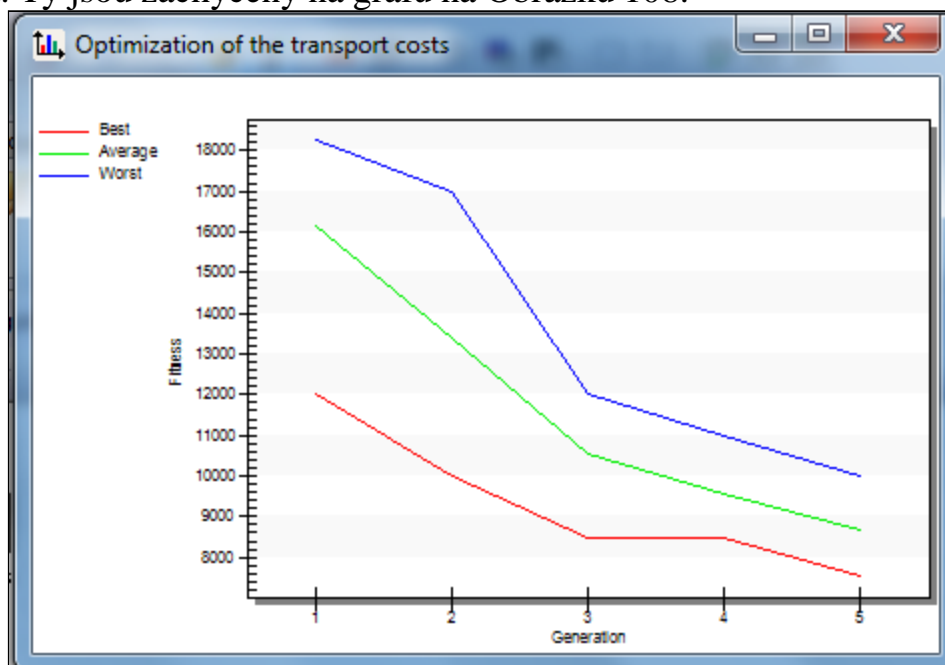


Obrázek 107: Sankey diagram neoptimalizované alternativy modelu

8.11.4 Optimalizace základní alternativy

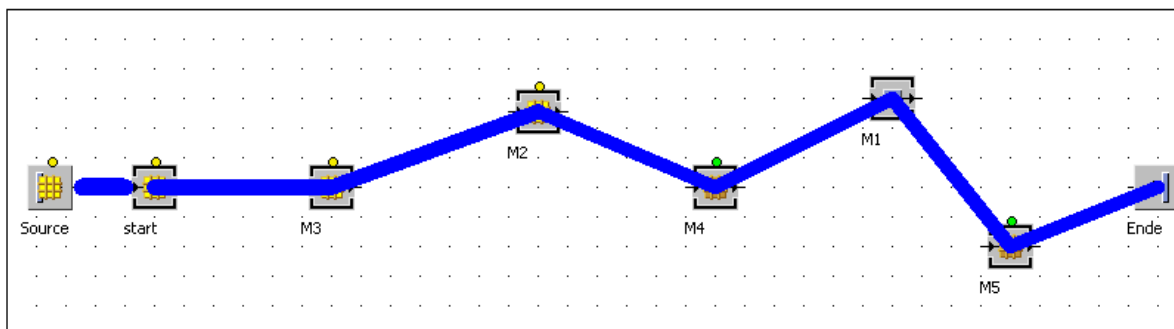
Pro optimalizaci uspořádání strojů byl použit nástroj „LayoutOptimizer“. Tento nástroj změnil pozici vybraných zdrojů za účelem minimalizace transportních nákladů. Náklady na přepravu mezi dvěma zdroji jsou vypočteny z počtu přesunutých dílů a euklidovské vzdálenosti mezi zdroji. Množství transportních nákladů je determinováno v průběhu jednoho simulačního běhu. Optimalizace je realizována na základě genetických algoritmů a po vykonání simulačního běhu je vybráno nejlepší řešení. To je pak aplikováno na výrobní systém.

Náklady na transport základní alternativy výrobního systému jsou 17654 jednotky. Na základě genetického algoritmu byly získány nejhorší, nejlepší a průměrné náklady na transport. Ty jsou zachyceny na grafu na Obrázku 108.



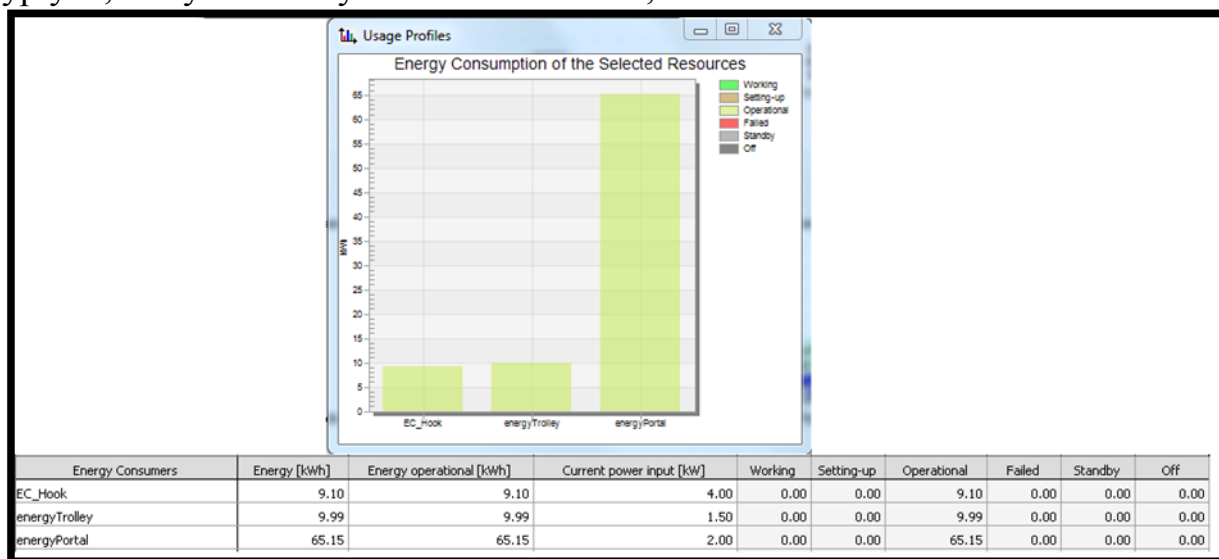
Obrázek 108: Optimalizace nákladů na transport – výstup genetického algoritmu

Po vykonání simulačního běhu s aktivovaným „LayoutOptimizer“ bylo dosaženo transportních nákladů 7784 jednotky. Sankey diagram potvrzuje optimálnost nového uspořádání strojů i z hlediska toku materiálu (viz Obrázek 109).



Obrázek 109: Sankey diagram optimalizované alternativy modelu

Pro získání výstupních parametrů optimalizované varianty byla simulována produkce 14 kusů, stejně jako u základní alternativy, aby bylo srovnání výstupů relevantní. Optimalizací bylo dosaženo snížení spotřeby energie transportního systému na 84,2 kWh. Energetická spotřeba jednotlivých částí transportního systému je zachycena na Obrázku 110. Doba potřebná k výrobě 14 kusů je 5 hodin. Z toho vyplývá, že výrobnost systému vzrostla na 2,8 kusů za hodinu.



Obrázek 110: Graf a tabulka s energetickou spotřebou transportního systému optimalizované alternativy modelu

8.12 TRANSFER DAT DO/Z SIMULAČNÍHO MODELU, PŘIPOJENÍ SIMULAČNÍHO SW NA DATABÁZI ERP PODNIKU

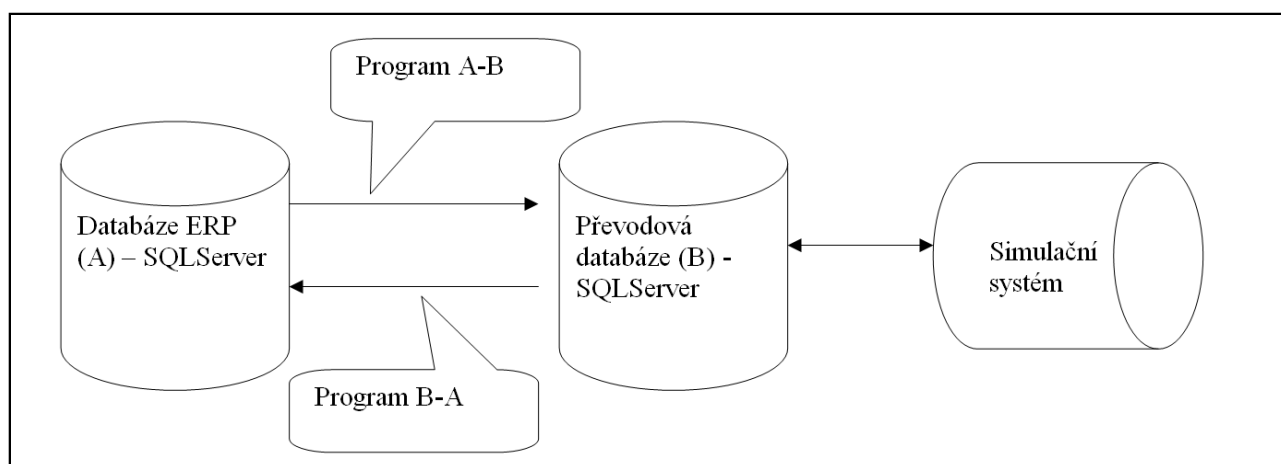
8.12.1 Definice obecného přenosu dat

Data pro vypracování simulačního modelu výrobního podniku jsou získávána především z informačního systému podniku. Jedná se v převažujících případech

o informační systém typu ERP, který obsahuje souhrn podnikových dat. Z velkého množství dat jsou z ERP systému získávána data relevantní pro simulační model. Jelikož je simulační model často používán i pro rozvrhování výroby, pak se data pro simulační model svou strukturou blíží struktuře dat pro plánování výroby. Simulační SW je součástí APS systému, a proto jsou datové struktury obou systémů velice podobné.

Obecný blokový diagram přenosu dat zobrazený na Obrázku 111 se vztahuje k ERP systému za předpokladu, že používá MS SQLServer.

- Databáze ERP podniku (A) používá databázový systém, například MS SQLServer. Je to ostrá databáze podniku, do které simulační SW nemá možnost zasahovat.
- Převodová databáze (B) používá také databázový systém, například MS SQLServer. Tato databáze slouží pro přenos dat do/z simulačního SW. Struktura a formát databáze (B) odpovídá požadavkům simulačního SW.
- Program A -B modifikuje a přenáší data z databáze A do převodové databáze B.
- Program B -A modifikuje a přenáší data z převodové databáze (B) do databáze (A).



Obrázek 111: Obecný blokový diagram přenosu dat

Převodová databáze (B) slouží jako interface k oddělení databáze ERP od „databáze“ simulačního systému a to z toho důvodu, že databáze simulačního systému nemusí mít strukturu relační databáze, ale může mít speciální interní strukturu, která se externě jeví jako soubor typu „csv“ (Comma-separated values - *hodnoty oddělené čárkami* je jednoduchý souborový formát určený pro výměnu tabulkových dat). [66] Speciální interní struktura dat simulačního systému dovoluje aplikaci rychlých algoritmů pro zpracování dat a zvyšuje rychlost simulačních běhů.

8.12.2 Data přenášená z ERP systému do simulačního systému

Z velkého množství dat obsažených v ERP jsou přenášena do simulačního systému především následující:

- Výrobky;
- technologické postupy obsahující seřizovací a kusové nebo dávkové časy a potřebné zdroje pro vykonávané operace;
- kusovníky;
- výrobní příkazy, zakázky;
- stav rozpracované výroby;
- stav skladových zásob;
- pracovní směny, kalendář;
- algoritmy pro řízení výroby (pokud jsou obsažené v ERP);

8.12.3 Data přenášená ze simulačního systému do ERP systému

Simulační systém generuje velké množství výstupních dat, jak je vidět z výstupů ze simulačních modelů v předchozích kapitolách. Pokud je simulační model používán pro rozvrhování výroby, pak jsou do ERP systému přenášena především následující data:

- Plán práce strojů a operátorů;
- vytížení strojů a operátorů;
- časové průběhy zpracování výrobních příkazů nebo i jednotlivých dávek;
- úzká místa výroby atd.

8.12.4 Příklad transferu dat

Transfer dat mezi ERP a simulačním SW je specifický pro každý z uvedených systémů, protože se struktura dat u různých systémů může lišit. Z tohoto důvodu neexistuje univerzální interface pro přenos dat. V příloze č. 19 je uveden jako příklad návod na transfer dat do simulačního systému z ERP systému. Protože u příkladu v příloze nebyl požadavek na online transfer dat, jsou data z ERP generována do souboru v MS Excel a potom přenášena jen do simulačního modelu. Zpětný přenos výstupních dat ze simulačního SW není vyžadován, protože simulační výstupy nejsou určeny pro rozvrhování výroby v reálném čase.

9 ZÁVĚR A POKRAČOVÁNÍ VĚDECKÉ PRÁCE

Vědecká práce je zaměřena na problematiku redukce průběžné doby ve výrobních systémech.

V první části práce je objasněn rozdíl mezi jednotlivými typy průběžných dob a význam jejich redukce. Je provedena analýza některých metod pro redukci průběžné doby, jako například metody Just-in-Time, Kanban, Poka-Yoke a další. Z vybraných metod je zvolen simulační přístup k redukci průběžné doby. Následně je popsána problematika modelování a simulace diskrétních systémů. Jsou vypracovány průmyslové aplikace, kde je využit simulační přístup, například simulace výrobního systému na zpracování výrobků z titanu, simulace transportu disků, simulace transportu polotovarů na mořící lince apod. (viz kapitola 7)

Vědecká práce je zaměřená na následující oblasti:

- Návrh nových, komplexních přístupů pro zkracování průběžných dob ve výrobních systémech.
- Metodologii využití nových, komplexních přístupů založených na simulačním přístupu pro zkracování průběžných dob ve výrobních systémech.
- Zařazení simulačních modelů do řídicí struktury výrobního podniku.
- Rozpracování odpovídající manažerské podpory pro úspěšnou aplikaci těchto nových přístupů do průmyslu.
- Vypracování simulačních modelů výroby a jejich aplikaci pro:
 - Optimalizaci velikosti výrobních dávek
 - Návrh metod na snížení průběžných dob zakázek s ohledem na úzká místa výroby a kapacitní vytížení
 - Analýzu úzkých míst výroby produktů z pohledu klíčových technologií.
- Využití simulačních modelů pro optimalizaci rozvrhování výroby
- Vyhodnocení analýzy výrobních procesů a simulačního modelu za účelem doplnění stávajícího ERP systému o nadstavbu systému pokročilého plánování APS
- Optimalizaci výroby z hlediska navýšení KPI použitím nového způsobu rozvrhování výroby za použití simulačního přístupu.

Ukazuje se, že aplikace simulačního přístupu má mnohem širší vliv na výrobní systémy, než je jen redukce průběžné doby. I když jsou v literatuře uvedené mnohé aplikace diskrétní simulace pro řešení výrobních problémů, ucelená metodika jak zařadit a používat simulační model ve výrobě není vypracována. Výše uvedená práce si proto kladla za cíl ukázat, jak využít simulační modelování pro redukci průběžných dob.

Budoucí pokračování vědecké práce bude zaměřeno na zdokonalování metod pro redukci průběžné doby výroby za využití simulačního přístupu. Předpokládá se pokračování ve vývoji SW vybavení pro automatické generování simulačních modelů na základě vstupních dat z ERP systémů výrobních podniků. Pozornost bude věnovaná i vývoji nových algoritmů pro optimalizaci výroby (součástí této

optimalizace bude i redukce průběžných dob). Vyvíjená metodika pro redukce průběžných dob výroby bude nadále aplikovaná v praxi a získané zkušenosti poslouží pro zdokonalení metodiky.

10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SIMEONOVÁ, Ivana a Robert HOFMAN. *Využití simulačního softwaru pro pokročilé plánování a rozvrhování*. Automa: časopis pro automatizační techniku. Praha: FCC Public. ISBN 1210-9592. ISSN 1210- 9592.
- [2] BANKS, Jerry, John S CARSON a Barry L NELSON. Discrete-event system simulation. DISCRETE EVENT SIMULATION [online]. 2000, (3/e) [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://www.telecom.otago.ac.nz/tele302/ref/Banks_DES.pdf
- [3] ELFVING, Jan Alarik. *Exploration of Opportunities to Reduce Lead Times for Engineered-to-Order Products*. University of California, Berkeley, 2003. Dizertační práce. Helsinki University of Technology.
- [4] SIMEONOVÁ, I a S SIMEONOV. Lead time reduction methods. *MMScience* [online]. 2012, (10): 334-337 [cit. 2015-11-08]. ISSN 1805-0646. Dostupné z: http://www.mmscience.eu/archives/MM_Science_201210.pdf
- [5] KŘIVÝ, Ivan a Evžen KINDLER. SIMULACE A MODELOVÁNÍ. In: [Vendulka.zcu.cz/](http://vendulka.zcu.cz/) [online]. 2001 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://vendulka.zcu.cz/Download/Free/SkriptaKindlerMS.pdf>
- [6] Just in time. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Just_in_time
- [7] PELIKÁN, Vít. *Analýza využití ERP systémů na českém trhu*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Ing. Jaromír Skorkovský, CSc.
- [8] JAY HEIZER, Barry Render. *Operations management*. 7th ed, International ed. Upper Saddle River, N. J: Pearson Education International, 2004. ISBN 01-312-0974-4 .
- [9] MIČIETA, B, M GREGOR, P QUIRENC a M BOTKA. *Kanban:Ste na řahu!*. Žilina: Slovenské centrum produktivity, 2001, 136 s. ISBN 80-968324-2 -5.
- [10] KOHOUTOVÁ, Anna. *Využití vybraných logistických metod ve výrobním podniku*. Písek, 2008. Diplomová práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Vedoucí práce Prof. Ing. Drahoš Vaněček, CSc.

- [11] SILVER, Edward A, Edward A SILVER, D PYKE a Rein PETERSON. *Inventory management and production planning and scheduling*. 3rd ed. New York: Wiley, c1998, xxii, 754 p. ISBN 04-711-1947-4 .
- [12] Poka - Yoke. *API - Akademie produktivity a inovací, s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://e-api.cz/page/68344.heijunka/>
- [13] MLČOCHOVÁ, Petra. *PŘÍPADOVÁ STUDIE ZAVÁDĚNÍ JUST IN TIME*. Brno, 2006. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Ing. Ondřej ČÁSTEK.
- [14] Heijunka. *API - Akademie produktivity a inovací, s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://e-api.cz/page/68344.heijunka/>
- [15] IMAI, Masaaki. *Kaizen: metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2004, vi, 272 s. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0461-3.
- [16] ŌNO, Taiichi. *Toyota production system: beyond large-scale production*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, c1988, xix, 143 p. ISBN 09-152-9914-3.
- [17] SHINGŌ, Shigeo. *Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement*. Cambridge, Mass.: Productivity Press, c1988, xxv, 454 p. ISBN 09-152-9930-5 .
- [18] FORRESTER, Jay W. *Industrial dynamics*. Waltham: Pegasus, 1991, xv, 464 s. ISBN 18-838-2336-6.
- [19] JAMES P. WOMACK, James P. Daniel T. *The machine that changed the world: the story of lean production - Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry*. [New ed.]. London: Simon, 2007. ISBN 978-184-7370-556.
- [20] SCHONBERGER, Richard J. *World class manufacturing: the next decade : building power, strength, and value*. New York: Free Press, 1996. ISBN 978-147-6747-347.
- [21] HOPP, Wallace J a Mark L SPEARMAN. *Factory physics: foundations of manufacturing management*. 2nd ed. Boston: Irwin/McGraw-Hill, c2001, xxii, 698 p. ISBN 02-562-4795-1 .

- [22] ZIPKIN, Paul H. Models for Design and Control of Stochastic, Multi-Item Batch Production Systems. *Operations Research*. 1986, **34**(1): 91-104. DOI: 10.1287/opre.34.1.91. ISSN 0030-364x. Dostupné také z: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.34.1.91>
- [23] KARMARKAR, Uday S. Lot Sizes, Lead Times and In-Process Inventories. *Management Science*. 1987, **33**(3): 409-418. DOI: 10.1287/mnsc.33.3.409. ISSN 0025-1909. Dostupné také z: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.33.3.409>
- [24] SUZAKI, Kiyoshi. *The new manufacturing challenge: techniques for continuous improvement*. New York: Free Press, 1987. ISBN 978-145-1697-551.
- [25] GOLDRATT, Eliyahu M a Robert E FOX. *The race*. Croton-on-Hudson, NY: North River Press, c1986, 179 p. ISBN 08-842-7062-9.
- [26] BANKS, Jerry. *Discrete-event system simulation*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001, xiv, 594 p. ISBN 01-308-8702-1.
- [27] LAW, Averill M a W KELTON. *Simulation modeling and analysis*. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, c2000, xxi, 760 p. ISBN 00-705-9292-6.
- [28] C. DENNIS PEGDEN, C. Robert E. *Introduction to simulation using SIMAN*. International ed. New York: McGraw-Hill, 1990. ISBN 00-704-9217-4.
- [29] SCHRIBER, Thomas J. *An introduction to simulation using GPSS/H*. Chichester: John Wiley, 1991. ISBN 04-710-4334-6.
- [30] SURI, Rajan. *It's about time: the competitive advantage of quick response manufacturing*. New York: CRC Press, c2010, xx, 210 p. ISBN 14-398-0595-4.
- [31] ZEIGLER, Bernard P, Herbert PRAEHOFER a Tag Gon KIM. *Theory of modeling and simulation: integrating discrete event and continuous complex dynamic systems*. Amsterdam: Academic Press, c2000, xxi, 510 s. ISBN 01-277-8455-1.
- [32] ASKIN, Ronald G a Jeffrey B GOLDBERG. *Design and analysis of lean production systems*. New York: Wiley, 2002, xiv, 533 p. ISBN 04-711-1593-2.
- [33] HARRISON, David K a David J PETTY. *Systems for planning and control in manufacturing: systems and management for competitive manufacture*. Boston: Newnes, 2002, xiv, 297 p. ISBN 07-506-4977-1.

- [34] PROUD, John F. *Master scheduling: a practical guide to competitive manufacturing*. 3rd ed. Hoboken, N. J.: John Wiley, c2007, xxviii, 657 p. ISBN 04-717-5727-6.
- [35] HORVÁTH, Gejza. *Logistika výrobních procesů a systémů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, iii, 195 s. ISBN 80-708-2625-8.
- [36] HOUŠKA, Milan. *Simulační modely I*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2005, 57 s. ISBN 80-213-1334-X.
- [37] HOLUBÍK, J. Optimalizace výrobního procesu pomocí diskrétní simulace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2011. 70 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Šunka, Ph.D.
- [38] GOLDRATT, Eliyahu M a Jeff COX. *Cíl: proces trvalého zlepšování*. 2. přeprac. vyd. [i.e. vyd. 3.]. Praha: InterQuality, 2012, 333 s. ISBN 978-80-902770-8 -3.
- [39] Production Rate. *Investopedia, LLC* [online]. ©2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.investopedia.com/terms/p/production-rate.asp>
- [40] Řízení projektů. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98%C3%ADzen%C3%AD_projekt%C5%A F
- [41] VAVRUŠKA, Jan. Řízení výroby na základě úzkého místa. *Katedra výrobních systémů, FS TUL* [online]. ©2011 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/PI>
- [42] WESCOTT, Bob. Bottlenecks. *Amazon.com, Inc. or its affiliates* [online]. ©2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <https://tech-book-store.amazon.com/post/Tx29OM2CQN18Y9B/Bottlenecks>
- [43] BASL, Josef a Roman BLAŽÍČEK. *Podnikové informační systémy: podnik v informační společnosti*. 3., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2012, 323 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-4307-3.
- [44] DETTMER, H. Goldratt's theory of constraints: a systems approach to continuous improvement. *Goldratt.cz* [online]. (c)2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.goldratt.cz/teorie-omezeni/kriticky-retez>

- [45] ULRYCH, Zdeněk a Pavel RAŠKA. Simulace výrobních linek. In: *Simulace výrobních linek* [online]. 2001 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/clanky/simulace-vyrobnich-linek.htm>
- [46] BURIETA, Ján. Simulace. In: *Simulace* [online]. 2007 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.ipaslovakia.sk/cz/ipa-slovník/simulace?ohodnot=1>
- [47] KPI jako nástroj snížení nákladů. In: <http://magazin.e15.cz/bydlení/aktuality/kpi-jako-nastroj-snížení-nakladu-979309> [online]. 2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://magazin.e15.cz/bydlení/aktuality/kpi-jako-nastroj-snížení-nakladu-979309>
- [48] ŠRÁMKOVÁ, Barbora. *Aplikace principů štihlé výroby v průmyslovém podniku*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.
- [49] VLČEK, Václav. Value Stream Mapping – Mapování toku hodnot. CIE-PLZEN.CZ [online]. 2013 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.cie-plzen.cz/index.php/en/lexikon-metod/value-stream-mapping-mapovani-toku-hodnot>
- [50] ROZZOLI, Andrea Emilio. A Collection of Modelling and Simulation Resources on the Internet. *Simulation Tools* [online]. Lastupdate:December2009 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://people.idsia.ch/~andrea/sim/simtools.html>
- [51] Witness. *Dynamicfuture.cz* [online]. ©2010 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.dynamicfuture.cz/witness/>
- [52] HUMUSOFT. Nový distributor produktů Witness v ČR a SR. *Cad.cz* [online]. 2009 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/component/content/article/2665.html>
- [53] Plant Simulation. *Plant Simulation: Siemens PLM Software - ČESKÁ REPUBLIKA* [online]. ©2015 [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml
- [54] CARVAN, Karel. Funkce genetického algoritmu při optimalizaci výroby. *Funkce genetického algoritmu při optimalizaci výroby* [online]. 2009, (1) [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/funkce-genetickeho-algoritmu-pri-optimalizaci-vyroby.html>

- [55] Pravděpodobnostní rozdělení spojité náhodné veličiny pro základní soubory. *Statistika a výpočetní technika* [online]. [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn2/rozdelZS.htm>
- [56] JOHNSON, Danny J. A framework for reducing manufacturing throughput time. *Journal of Manufacturing Systems* [online]. 2003, **22**(4): 283-298 [cit. 2015-08-31]. DOI: 10.1016/S0278-6125(03)80009-2 . ISSN 02786125. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278612503800092>
- [57] HOUTZEEL, A. Computer integrated manufacturing. 1982 *Academic-Practitioners Liaison Operations Mgmt. Workshop*,. 1982,: 23-3.
- [58] SHINGŌ, Shigeo. *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Stamford, Conn.: Productivity Press, c1985, xxii, 361 p. ISBN 09-152-9903-8.
- [59] STEUDEL, H. J. a P. DESRUELLE. *Manufacturing in the nineties: how to become a mean, lean world-class competitor*. New York: John Wiley, 1992. ISBN 978-047-1283-911.
- [60] WALLACE J. HOPP, Wallace J. Mark L. *Factory physics*. 3rd ed. Long Grove, Ill: Waveland Press, 2011. ISBN 15-776-6739-5.
- [61] Model 7S - Mc Kinsey. In: *CIE-PLZEN.CZ* [online]. 2013 [cit. 2015-09-02]. Dostupné z: <http://www.cie-plzen.cz/index.php/en/lexikon-metod/model-7s-mc-kinsey>
- [62] BRECHTA, Bohumil. *Efektivní rozhodování: analyzování, rozhodování, implementace a hodnocení*. 1. vyd. Brno: Edika, 2013, vii, 392 s. ISBN 978-80-266-0179-1.
- [63] VONDRUŠOVÁ, Miroslava. *PODNIKATELSKÝ PLÁN NA ROZŠÍŘENÍ PODNIKU*. Brno, 2010. Diplomová práce. Masarykova univerzita Ekonomicko-správní fakulta.
- [64] POKA YOKE. In: *CIE-PLZEN.CZ* [online]. 2013 [cit. 2015-09-02]. Dostupné z: <http://www.cie-plzen.cz/index.php/en/lexikon-metod/poka-yoke>
- [65] SAVICKÝ, Richard. *TEORIE OMEZENÍ: JEJÍ APLIKACE A VYUŽITÍ VE VYBRANÉM PODNIKU*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- [66] CSV. *Cs.wikipedia.org* [online]. 2014 [cit. 2015-09-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/CSV>.

- [67] ASKIN, Ronald G a Charles R STANDRIDGE. *Modeling and analysis of manufacturing systems*. New York: Wiley, c1993, xvi, 461 p. ISBN 04-715-1418-7.
- [68] SIMEONOVÁ, Ivana, Radek KNOFLÍČEK a Robert HOFMAN. Optimization of production orders input to manufacturing system: Creating database of simulation models to support the teaching. In: *Proc. of the Second Intl. Conf. on Advances In Mechanical and Robotics Engineering- AMRE 2014*. Zurich, 2014, s. 49-52. DOI: 10.15224/ 978-1-63248-031-6-149. ISBN 978-1-63248-031-6.
- [69] NORDMEYER, Billie. What Is the Difference Between Manufacturing Lead Time & Throughput Time? In: *What Is the Difference Between Manufacturing Lead Time & Throughput Time?* [online]. ©2015 [cit. 2015-09-25]. Dostupné z: <http://smallbusiness.chron.com/difference-between-manufacturing-lead-time-throughput-time-34616.html>
- [70] SIMEONOV, Simeon. *Plánování a řízení výroby* [online]. 2015 [cit. 2015-10-08].
- [71] SIMEONOV, Simeon. *Pokrokové plánování a rozvrhování: APS - Advanced Planning and Scheduling* [online]. 2015 [cit. 2015-10-08].
- [72] SIMEONOV, Simeon. *Dopředné a zpětné plánování podle úzkých míst Dopřední a zpětné plánování podle úzkých míst (TOC)* [online]. 2015 [cit. 2015-10-08].
- [73] SIMEONOVÁ, Ivana a Robert HOFMAN. Počítačová simulace jako nástroj pro efektivní zavedení automatizace do výrobního systému. *Počítačová simulace jako nástroj pro efektivní zavedení automatizace do výrobního systému - ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2015, (2) [cit. 2015-10-23]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace-rizeni-a-regulace/pocitacova-simulace-jako-nastroj-pro-efektivni-zavedeni-automatizace-do-vyrobniho-systemu>
- [74] SIMEONOVÁ, Ivana a Robert HOFMAN. *Zvýšení produktivity výrobního systému pomocí počítačové simulace*. TZB-info, 2012, roč. 2012, č. 2, s. 1-3. ISSN: 1801-4399

11 SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

a	Zrychlení (Acceleration)	[m/s ²]
F	Síla	[N]
$f(x)$	Hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny X	[-]
k	Celkový počet dávek v jednotlivých zakázkách	[ks]
M	Hmotnost	[kg]
m	Velikost dávky	[ks]
m	Dolní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot PR_{actCT}	[-]
m	Dolní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot Δt	[-]
m	Střední hodnota náhodné veličiny X	[-]
MTTL	Dávková průběžná doba výroby (Manufacturing Throughput Time per Load)	[min]
MTTO	Zakázková průběžná doba výroby (Manufacturing Throughput Time per Order)	[min]
MTTP	Manufacturing Throughput Time per Part	[min]
n	Počet naměřených hodnot PR_{act}	[ks]
n	Počet naměřených hodnot PR_{act}	[ks]
n	Počet naměřených hodnot Δt	[ks]
n	Horní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot PR_{actCT}	[-]
n	Horní hranice zadaného počtu vzorků naměřených hodnot Δt	[-]
PPOP	potřebný objem palety	
PR	Výrobnost systému (Production Rate)	[ks/hod]
PR_{act}	Aktuální výrobnost v době ukončení simulace (PR actual)	[ks/hod]
PR_{actCT}	Aktuální výrobnost vypočtená z času cyklu	[ks/hod]
PR_{avg}	Průměrná hodnota výrobnosti za dobu simulace (PR average)	[ks/hod]
PR_{avgCT}	Průměrná hodnota výrobnosti (PR average cycle time)	[ks/hod]
PR_{max}	Maximální výrobnost za dobu simulace (PR maximal)	[ks/hod]
PRE_PR_n	Předstih dodávky materiálu na pracoviště	[min]
s	Směrodatná odchylka náhodné veličiny X	[-]
T	Míra generování peněz za jednotku času	[-]
T	Doba periody simulace (simulační čas)	[hod]
Tac	Procesní čas	[min]
Tbc	Seřizovací čas	[min]
t_n	Čas výstupu polotovaru s pořadím n	[hod]
t_{n-1}	Čas výstupu polotovaru s pořadím $n-1$	[hod]
TP	Celková produkce (Total production)	[ks]
t_1	Procesní čas u „stroj_1“	[min]
t_2	Procesní čas u „stroj_2“	[min]
X	Spojité náhodná veličina	[-]
ZPO_PR_n	Zpoždění na pracovišti „n“	[min]

ZPO_PR_{celk}	Celkové zpoždění	[min]
Δt	Rozdíl času výstupu polotovaru pořadím n (t_n) a času výstupu polotovaru s pořadím n -1 (t_{n-1})	[hod]
Δt_{max}	Maximální hodnota Δt pro počet naměřených hodnot PR_{actCT}	[hod]
Δt_{max}	Maximální hodnota Δt pro počet vzorků naměřených hodnot PR_{avgCT}	[hod]
Δt_{min}	Minimální hodnota Δt pro počet naměřených hodnot PR_{actCT}	[hod]
Δt_{min}	Minimální hodnota Δt pro počet vzorků naměřených hodnot PR_{avgCT}	[hod]

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ABC	Activity Based Costing
AGV	Automated Guided Vehicle
APS	Advanced Planning and Scheduling
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
CRP	Capacity Resource Planning
csv	Comma Separated Values
DBR	Drum – Buffer - Rope
ERP	Enterprise Resource Planning
FIFO	First In First Out
GA	Genetic Algorithm
GNU	GNU's Not UNIX
GPL	General Public License
GUI	Grafic User Interface
HLA	High Level Architecture
IDD	Inventory Dollar Days
HTML	HyperText Markup Language
JIS	Just In Seqence
JIT	Just In Time
KPI	Key Performance Indicators (klíčové ukazatele výkonnosti)
LIFO	Last In First Out
LT	Life Time
MES	Manufacturng Execution Systems
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPC	Multi Portal Crane
MPS	Master Production Schedule
MRP I	Material Requirements Planning
MRP II	Manufactirung Resource Planning
MS	Microsoft
NC	Numerical Control
NVA	Non Value Added
ODBC	Open Database Connectivity
OE	Operating Expense
OO	Object Oriented
OPT	Optimized Production Technology
PLC	Programmable Logic Controller
QRM	Quick Response Manufacturing
ROI	Return On Investments
RTI	Run Time Infrastructure
SPT	Shortest Processing Time

SQL	Structured Query Language
SW	Software
TDD	Throughput Dollar Days
TOC	Theory Of Constrains
VA	Value Added
WIP	Work In Process

13 SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ, ÚČASTÍ NA KONFERENCÍCH A PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍ

13.1 VLASTNÍ PUBLIKACE

1. SIMEONOVÁ, I., HOFMAN, R. *Zvýšení produktivity výrobního systému pomocí počítačové simulace*. TZB-info, 2012, roč. 2012, č. 2, s. 1-3. ISSN: 1801-4399
2. SIMEONOVÁ, I a S SIMEONOV. Lead time reduction methods. *MMScience* [online]. 2012, (10): 334-337 [cit. 2015-11-08]. ISSN 1805-0646. Dostupné z: http://www.mmscience.eu/archives/MM_Science_201210.pdf
3. SIMEONOVÁ, I., SIMEONOV S. *Production rate optimization by using simulation approach for designing of acid pickling lines*. In Sbornik dokladi ot dvadeset i treta mezdunarodna naučno-techničeska konferencia. Varna: The Scientific Technical union of mechanical engineering, 2012. S. 1-5. ISSN: 1310-3946.
4. SIMEONOVÁ, I., HOFMAN, R. *Využití simulačního softwaru pro pokročilé plánování a rozvrhování*. Automa, roč. 2013, č. 5. s 1-2. ISSN: 1210-9592.
5. SIMEONOVÁ, I., KNOFLÍČEK, R., HOFMAN, R. *Optimization of production orders input to manufacturing system*. Curych: 2014. S.1-4. ISBN: 978-1-63248-031-6.
6. SIMEONOVÁ, I., KNOFLÍČEK, R. *Batch size optimization using komputer simulation for the purpose of streamline the production and sustaining market position*. In Sbornik dokladi ot dvadeset i treta mezdunarodna naučno-techničeska konferencia. Sozopol: Technická univerzita Sofie, 2014. S. 1-6. ISSN: 1310-3946.
7. SIMEONOVÁ, I., KNOFLÍČEK, R. *Application of computer simulation to increase the prosuction rate of pickling line*. *MM Science Journal*, 2014, roč. 2014, č. 3, s.1-3. ISSN: 1805-0646
8. SIMEONOVÁ, I GYUROV, A. a SIMEONOV, S. *Modern methods for manufacturing planning and scheduling*. *MM Science Journal*, 2015, vol. 2015, no. 9, p. 1-3. ISSN: 1805- 0646.
9. SIMEONOVÁ, Ivana a Robert HOFMAN. *Počítačová simulace jako nástroj pro efektivní zavedení automatizace do výrobního systému - ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2015, (2) [cit. 2015-10-23]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace-rizeni-a-regulace/pocitacova-simulace-jako-nastroj-pro-efektivni-zavedeni-automatizace-do-vyrobniho-systemu>

* Články 5. a 6. jsou součástí projektu „Vytvoření databáze simulačních modelů pro podporu výuky předmětů: Modelování a simulace výrobních systémů (GMV Production, GMV A) a Plánování a řízení výroby (GPR, GPR-A)“ podporovaného fondem vědy FSI 2014.

13.2 KONFERENCE A SEMINÁŘE

1. Konference firmy Siemens - Siemens PLM software
 - "Velocity Roadshow 2012"
 - 22. 3. 2012, Brno
2. Akce JIC (Jihomoravské inovační centrum)
 - 120 vteřin+
 - 25. 9. 2012, Brno
3. Jednání KHKMSK
 - "BUSINESS RENDEZ-VOUS OSTRAVA 2012"
 - 12. 10. 2012, Ostrava
4. Školení firmy Siemens - Tecnomatix Plant Simulation
 - "Plant Simulation Basics, Methods, and Strategies"
 - Získány 2 certifikáty
 - 15-17. 10. 2012, Brno
 - 20-21. 11. 2012, Praha
5. Konference firmy ADaM
 - "4Motion"
 - 7. 11. 2012, Brno
6. Seminář firmy Dynamic Future s.r.o.
 - "Štíhlá výroba"
 - 22. 5. 2013, Ostrava
7. Akce JIC (Jihomoravské inovační centrum)
 - "Schůzka a jednání s p. prezidentem Zemanem na JIC"
 - 25. 9. 2013, Brno
8. Siemens PLM Connection 2014
 - Červen 2014, Seč, hotel Jezerka
9. Konference ADP
 - 19-22. 10. 2014, Sozopol, Bulharsko
10. Konference AMRE
 - 23– 28. 10. 2014, Curych, Švýcarsko
11. Pokročilé školení firmy Siemens - Tecnomatix Plant Simulation
 - 14.4, 15.4, 21-23. 4. 2015, Ostrava
12. Siemens PLM Connection 2015
 - 4.6 a 5. 6. 2015, Ostrava, Clarion Congress Hotel
13. Technická konference 2015 – Axiom Tech
 - 7.9 a 8. 9. 2015, Brno, Hotel Santon

13.3 PRŮMYSLOVÉ APLIKACE

1. Aoyama Automotive Fasteners Czech, s.r.o., Lovosice
 - „Nové algoritmy systému plánování výroby typu APS v Aoyama Automotive Fasteners Czech, s.r.o.”
2. LASKI, s.r.o., Smržice,
 - „Analýza a optimalizace výrobních procesů pro inovované výrobky v LASKI s.r.o.“
3. ZKL Hanušovice, a.s.
 - „Simulace a optimalizace výroby nových a inovovaných výrobků ložiskového programu v ZKL Hanušovice, a.s.”
4. LAC, s.r.o., Hrušovany u Brna
 - „Optimalizace výrobních procesů v LAC, s.r.o.”
5. MEDIN, a.s., Nové Město na Moravě
 - „Simulační model stávajícího stavu výroby”
6. CONTEG s.r.o., Pelhřimov – Lhotka
 - „Nové algoritmy systému plánování výroby typu APS v CONTEG s.r.o.”
7. Mold Production VFB, Continental Barum s.r.o., Otrokovice
 - „Zpracování simulační analýzy matematického modelu pro Sipe production concept”
8. KULIČKOVÉ ŠROUBY KUŘIM, a.s.
 - „Snížení nákladů v procesu zpracování kruhových tyčí používaných k výrobě kuličkových šroubů“
9. Sandvik, Švédsko
 - „Sestavení simulačního modelu soustavy mořících linek za účelem ověření požadované kapacity systému“
10. Continental Corporation, Frenštát pod Radhoštěm
 - „Simulační model pro rozvrhování výrobní linky na produkci čerpadel do automobilů“
11. Belgie
 - „Simulační model zinkovny“
12. Linde Wiemann,
 - „Zpracování alternativ simulačního modelu transportu polotovarů na dopravní lince“
13. Lugau, Chemnitz Německo
 - „Ověření kapacity systému mořících linek“
14. Bohler, Rakousko
 - „Simulace soustavy mořících linek s návratem háku“
15. Toyota Boshoku, Polsko
 - „Simulační model transportního systému výroby automobilových sedadel“
16. Vojenský opravárenský podnik, Šenov u Nového Jíčina

- „Rozvrhovací systém pro část výroby s meziskladem“
17. Měď Povrly,
- „Simulační analýza vlivu změny operačních časů na propustnost mořící linky“
18. Valeo, Rakovník
- „Simulace výroby“
19. Continental, Brandýs
- „Simulace různých způsobů řízení (PUSH, PULL, PUSH/PULL) výroby“

14 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Klíčové indikátory pro výrobky [zdroj: autor]
- Příloha 2: Klíčové indikátory pro zdroje [zdroj: autor]
- Příloha 3: Klíčové indikátory pro operace [zdroj: autor]
- Příloha 4: Klíčové indikátory pro zakázky [zdroj: autor]
- Příloha 5: Klíčové indikátory za období [zdroj: autor]
- Příloha 6: Vazba mezi KPI pro výrobky [zdroj: autor]
- Příloha 7: Vazba mezi KPI pro zdroje [zdroj: autor]
- Příloha 8: Vazba mezi KPI pro operace, zakázky a za období [zdroj: autor]
- Příloha 9: Layout simlačního modelu sestaveného za účelem simulační analýzy faktorů ovlivňující průběžné doby výroby. Pro přehlednost se simulační model výrobního systému skládá z 2 zdrojů (strojů nebo manuálních pracovních míst). [zdroj: autor]
- Příloha 10: Ganttovy diagramy pro zdroje a zakázky zobrazující posloupnost a dobu opracování výrobních příkazů VP_1 a VP_2 o velikosti dávky 1 kus. [zdroj: autor]
- Příloha 11: Větší výrobní dávky se zpracovávají delší dobu a zdržují tak dávky, které čekají ve frontě na zpracování na zdroji. Ganttovy diagramy pro zdroje na obrázku znázorňují, že větší velikost výrobní dávky ovlivňuje zakázkovou průběžnou dobu (MTTO) a dávkovou průběžnou dobu výroby (MTTL). Číslo simulační alternativy na obrázku odpovídá počtu kusů v dávce. [zdroj: autor]
- Příloha 12: Graf na obrázku zachycuje propustnost (Production Rate - PR) simulovaného výrobního systému. Se zvětšováním výrobní dávky propustnost klesá. Číslo simulační alternativy na obrázku odpovídá počtu kusů v dávce. [zdroj: autor]
- Příloha 13: Na obrázku je uvedeno grafické vyjádření PR pro jednotlivé alternativy simulačního modelu, kde jsou transportní časy menší než procesní časy. Velikosti výrobních dávek se pro alternativy mění a počet vyráběných dílců je konstantní. Ze simulace bylo zjištěno, že snižování PR je ovlivněno zvyšováním průběžných dob výroby. [zdroj: autor]
- Příloha 14: Na obrázku je uvedeno grafické vyjádření PR pro jednotlivé alternativy simulačního modelu, kde jsou transportní časy větší než procesní časy. V grafu je zobrazeno, že maximální PR a nejkratší průběžné doby výroby jsou u velikosti dávek 3 kusy, podobně nízké hodnoty obou parametrů jsou i u dávek o velikosti 4 a 6 kusů. [zdroj: autor]
- Příloha 15: Ganttův diagram pro zdroje na obrázku zachycuje délku trvání a typy jednotlivých operací včetně seřízení a transportu. V pravé části obrázku jsou uvedeny průběžné doby pro zakázky. Zařazení seřizovacích a transportních operací má vliv na navýšení průběžných dob. [zdroj: autor]
- Příloha 16: Namodelování komponenty zdroje jako kroku procesu redukce průběžné doby [zdroj: autor]

Příloha 17: Definice procesních časů zdrojů, které reprezentují kroky procesu redukce průběžné doby. [zdroj: autor]

Příloha 18: Pomocí simulačního nástroje lze definovat procesní tok, jako tok jednotlivých kroků redukce průběžné doby za využití komponenty „Process Plan“. [zdroj: autor]

Příloha 19: Návod na přenos dat z ERP do simulačního SW [zdroj: autor]

15 PŘÍLOHY

Příloha 1: Klíčové indikátory pro výrobky [zdroj: autor]

Item KPI-KPI výrobků	
Indikátor	Popis
Spotřebované množství	Spotřebované množství během specifikovaného období
Hodnota spotřeby	Hodnota spotřeby během specifikovaného období
Vyrobené množství	Vyrobené množství během specifikovaného období
Hodnota výroby	Hodnota výroby během specifikovaného období
Požadované denní množství	Požadované denní množství vypočítané z požadavku během specifikovaného období
Obrat zásoby ve dnech	Počet dnů, během kterých je skladové množství vyčerpáno
Tržby	Celková peněžní hodnota prodaných zakázek s termínem ve specifikované časové periodě
Materiálové náklady	Celková peněžní hodnota nakoupených zakázek s termínem ve specifikované časové periodě
Celkové zásoby	Celková peněžní hodnota zásob pro vypočítaný startovací čas
Celkové množství zásob	Celkové množství zásob pro vypočítaný startovací čas

Příloha 2: Klíčové indikátory pro zdroje [zdroj: autor]

Resource KPI-KPI pro zdroje	
Indikátor	Popis
Seřizovací čas	Seřizovací čas během specifikovaného období
Výrobní čas	Výrobní čas během specifikovaného období
Doba zdržení	Doba zdržení během specifikovaného období
Pracovní doba	Pracovní doba během specifikovaného období
Využití (včetně seřízení)	Využití (včetně seřízení) během specifikovaného období
Využití (bez seřízení)	Využití (bez seřízení) během specifikovaného období
Outsourcingové náklady	Outsourcingové náklady pro zdroj během specifikovaného období
Náklady na zdroj	Celkové náklady pro zdroj (mzdové, apod.) během specifikovaného období

Příloha 3: Klíčové indikátory pro operace [zdroj: autor]

Operation KPI-KPI pro operace	
Indikátor	Popis
Materiálové náklady	Množství prodejních zakázek * jednotková cena za položku
Outsourcingové náklady	Počet operací * Outsourcingové náklady za položku Pouze pro nákladový druh: "Outsourcingové náklady"
Náklady na zdroj	Celkový počet hodin * Hodinová sazba pro zdroj
Celkové náklady	Materiálové náklady + Outsourcingové náklady + Náklady na zdroj
Kumulativní materiálové náklady	Kumulativní materiálové náklady předchozího procesu + Materiálové náklady
Kumulativní outsourcingové náklady	Kumulativní outsourcingové náklady předchozího procesu + Outsourcingové náklady
Kumulativní náklady na zdroj	Kumulativní náklady na zdroj předchozího procesu + Náklady na zdroj
Kumulativní celkové náklady	Kumulativní materiálové náklady + Kumulativní outsourcingové náklady + Kumulativní náklady na zdroj

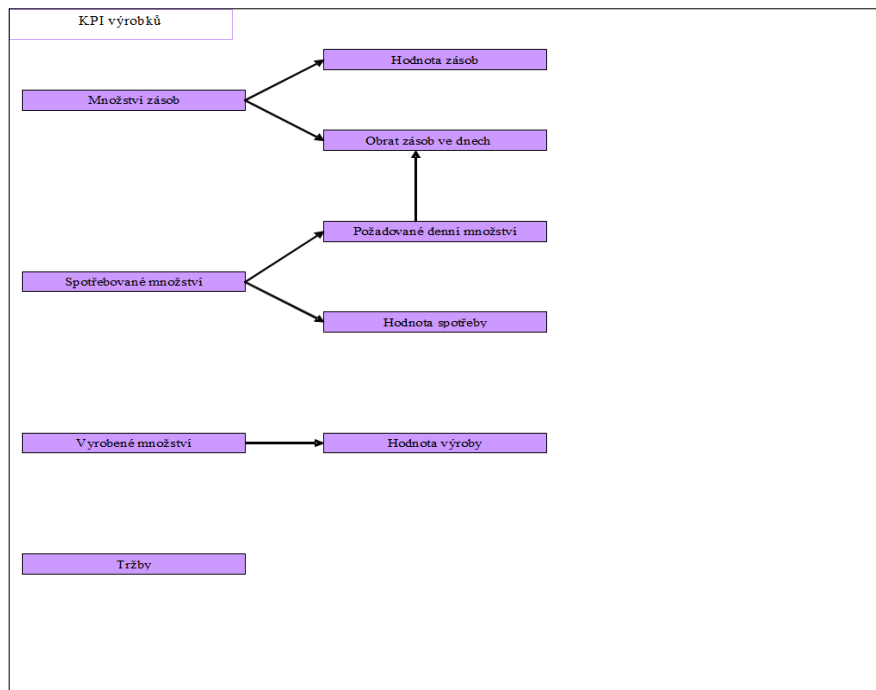
Příloha 4: Klíčové indikátory pro zakázky [zdroj: autor]

Order KPI-KPI zakázek	
Indikátor	Popis
Celkové materiálové náklady	Celkové materiálové náklady pro operace finálního procesu
Celkové outsourcingové náklady	Celkové náklady na outsourcing pro operace finálního procesu
Celkové náklady na zdroj (mzdové, apod.)	Celkové náklady na zdroj (mzdové, apod.) pro operace finálního procesu
Celkové souhrnné náklady	Celkové materiálové náklady + Celkové outsourcingové náklady + Celkové náklady na zdroj
Tržby	Množství výrobků prodejní zakázky * cena za kus
Zisk	Tržby – Celkové souhrnné náklady
Podíl zisku	Zisk / Tržby

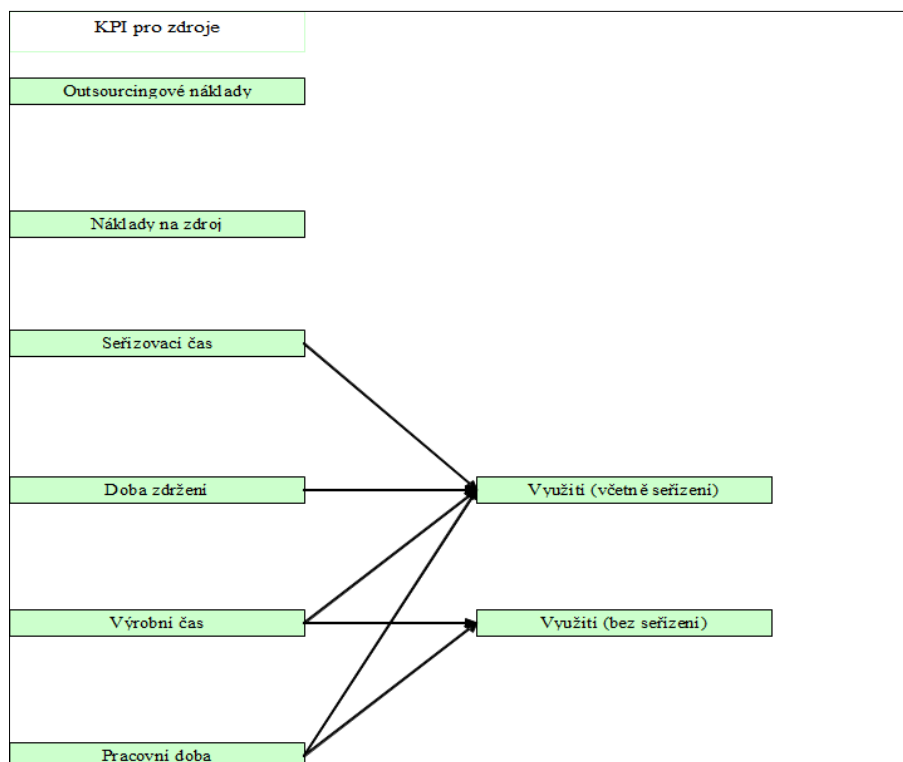
Příloha 5: Klíčové indikátory za období [zdroj: autor]

Period KPI - KPI za období	
Indikátor	Popis
Tržby	Celková peněžní hodnota prodaných zakázek s termínem ve specifikované časové periodě
Materiálové náklady	Celková peněžní hodnota nakoupených zakázek s termínem ve specifikované časové periodě
Outsourcingové náklady	Náklady na outsourcing pro operace během specifikovaného časového období
Náklady na zdroj (mzdové, apod.)	Celkové náklady na zdroj (mzdové, apod.) pro operace během specifikované časové periody
Celkové náklady	Materiálové náklady + Outsourcingové náklady + Náklady na zdroj
Zisk	Tržby – Celkové náklady
Podíl zisku	Zisk / Tržby
Prodejní zakázky v termínu	Procentuální splnění prodejních zakázek naplánovaného během specifikované časové periody
Nákupní zakázky v termínu	Procentuální splnění nákupních zakázek naplánovaného během specifikované časové periody
ROA – návratnost aktiv pro specifikované období	Zisk / celkové zásoby
Zásoba hotových výrobků	Celková peněžní hodnota hotových výrobků (položek) na skladě na začátku specifikované časové periody (typ položek: hotové výrobky nebo meziprodukty)
Zásoba vyráběných výrobků	Celková peněžní hodnota výrobků (položek) na skladě na začátku specifikované časové periody (typ položek: pouze vyráběné díly)
Zásoba nakupovaných výrobků	Celková peněžní hodnota nakupovaných výrobků (položek) na skladě na začátku specifikované časové periody (typ položek: pouze nakupované díly)
Celkové zásoby	Sklad hotových výrobků + sklad výrobků + sklad nakupovaných výrobků
Zásoba hotových výrobků - množství	Celkové množství nakupovaných výrobků (položek) na skladě na začátku specifikované časové periody (meziprodukty budou přidány také)
Zásoba vyráběných výrobků - množství	Celkové množství hotových výrobků (položek) na skladě na začátku specifikované časové periody (typ položek: pouze vyráběné díly)
Zásoba nakupovaných výrobků - množství	Celkové množství nakupovaných výrobků (položek) na skladě na začátku specifikované časové periody (typ položek: pouze nakupované díly)
Celkové zásoby - množství	Zásoba hotových výrobků + Zásoba vyráběných výrobků + Zásoba nakupovaných výrobků

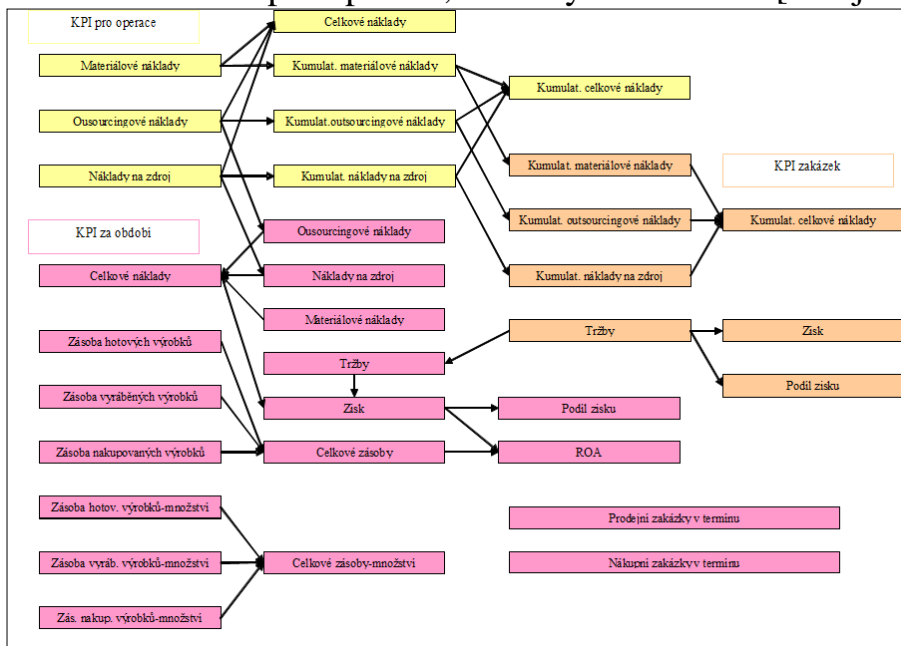
Příloha 6: Vazba mezi KPI pro výrobky [zdroj: autor]



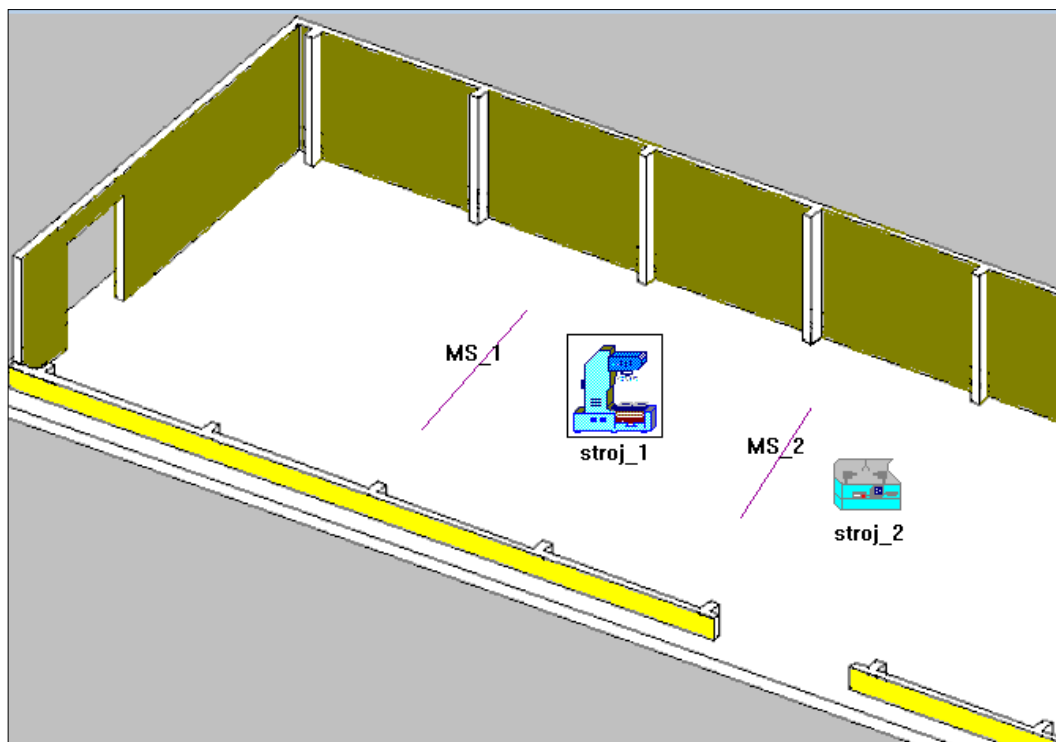
Příloha 7: Vazba mezi KPI pro zdroje [zdroj: autor]



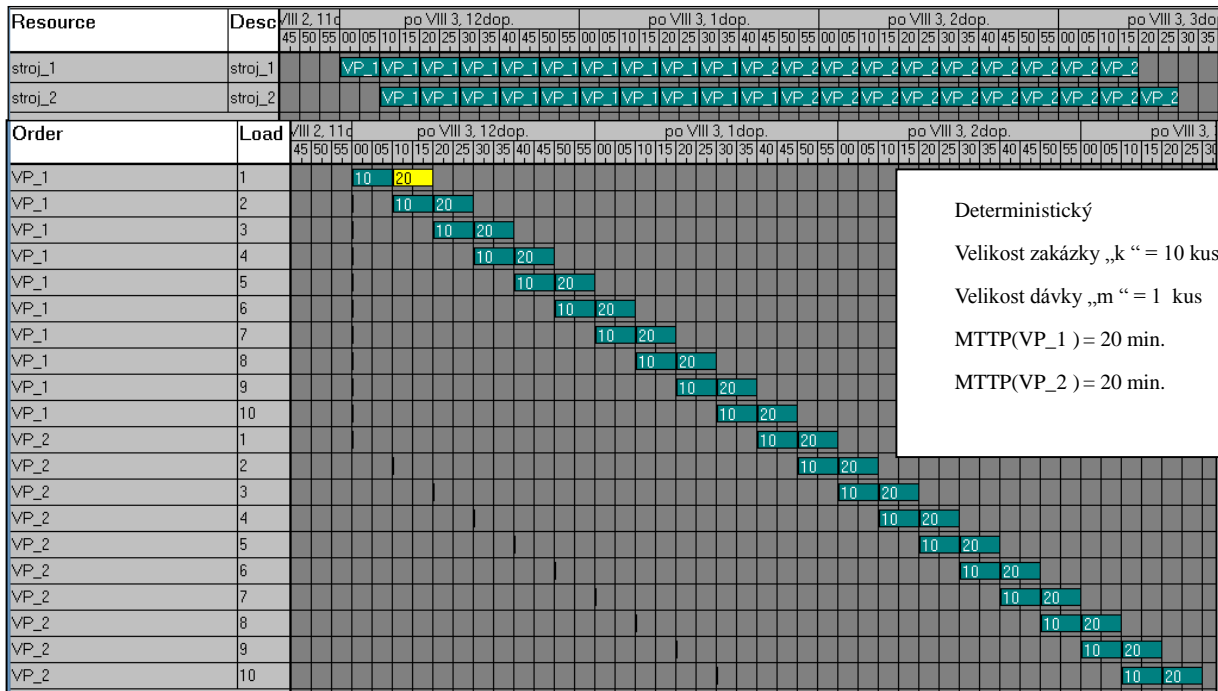
Příloha 8: Vazba mezi KPI pro operace, zakázky a za období [zdroj: autor]



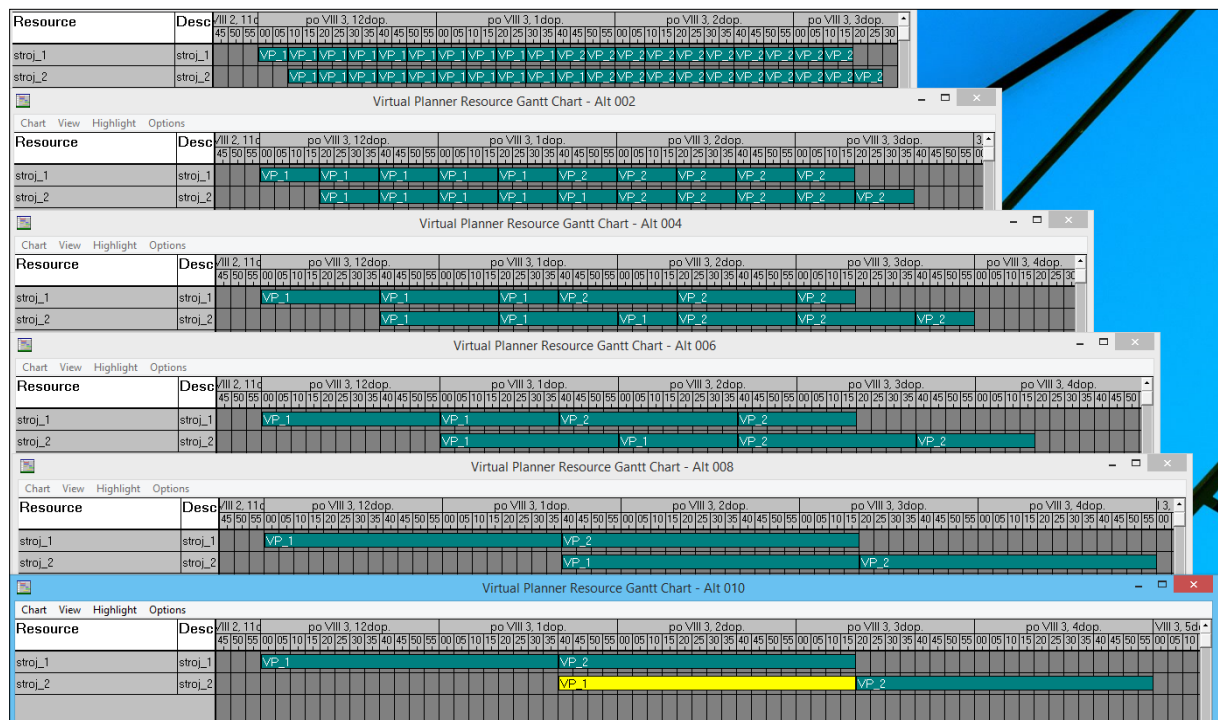
Příloha 9: Layout simlačního modelu sestaveného za účelem simulační analýzy faktorů ovlivňující průběžné doby výroby. Pro přehlednost se simulační model výrobního systému skládá z 2 zdrojů (strojů nebo manuálních pracovních míst). [zdroj: autor]



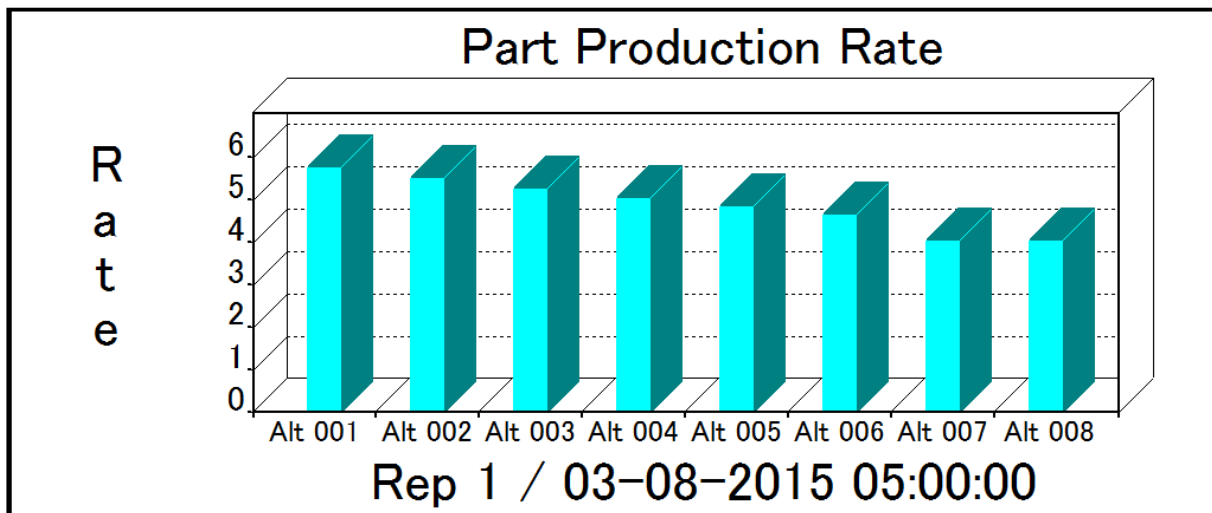
Příloha 10: Ganttovy diagramy pro zdroje a zakázky zobrazující posloupnost a dobu opracování výrobních příkazů VP_1 a VP_2 o velikosti dávky 1 kus. [zdroj: autor]



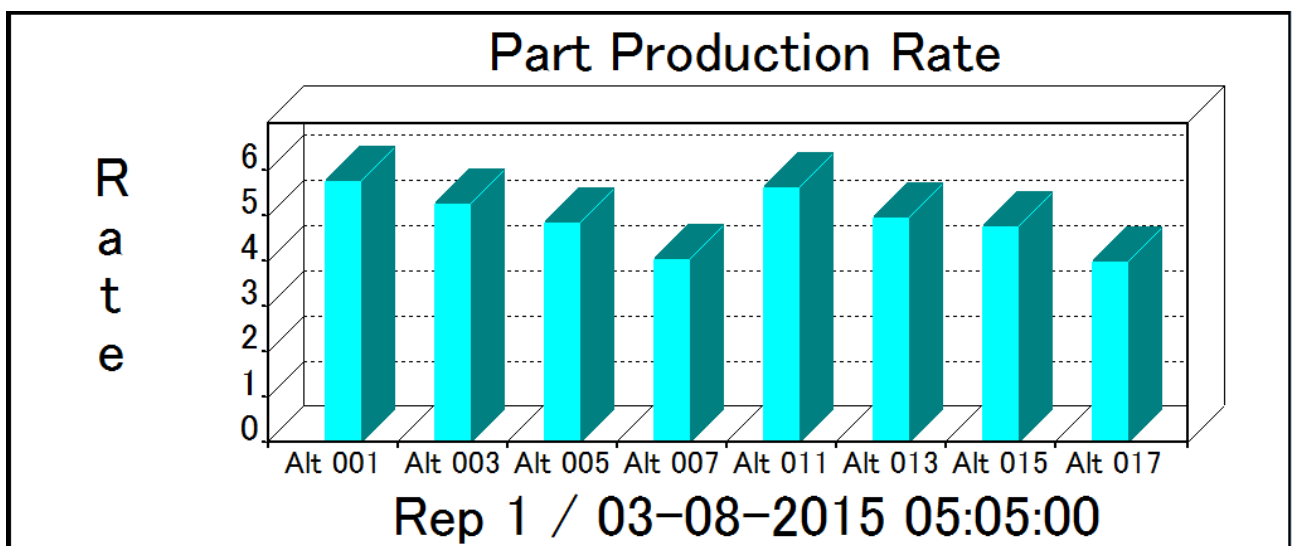
Příloha 11: Větší výrobní dávky se zpracovávají delší dobu a zdržují tak dávky, které čekají ve frontě na zpracování na zdroji. Ganttovy diagramy pro zdroje na obrázku znázorňují, že větší velikost výrobní dávky ovlivňuje zakázkovou průběžnou dobu (MTTO) a dávkovou průběžnou dobu výroby (MTTL). Číslo simulační alternativy na obrázku odpovídá počtu kusů v dávce. [zdroj: autor]



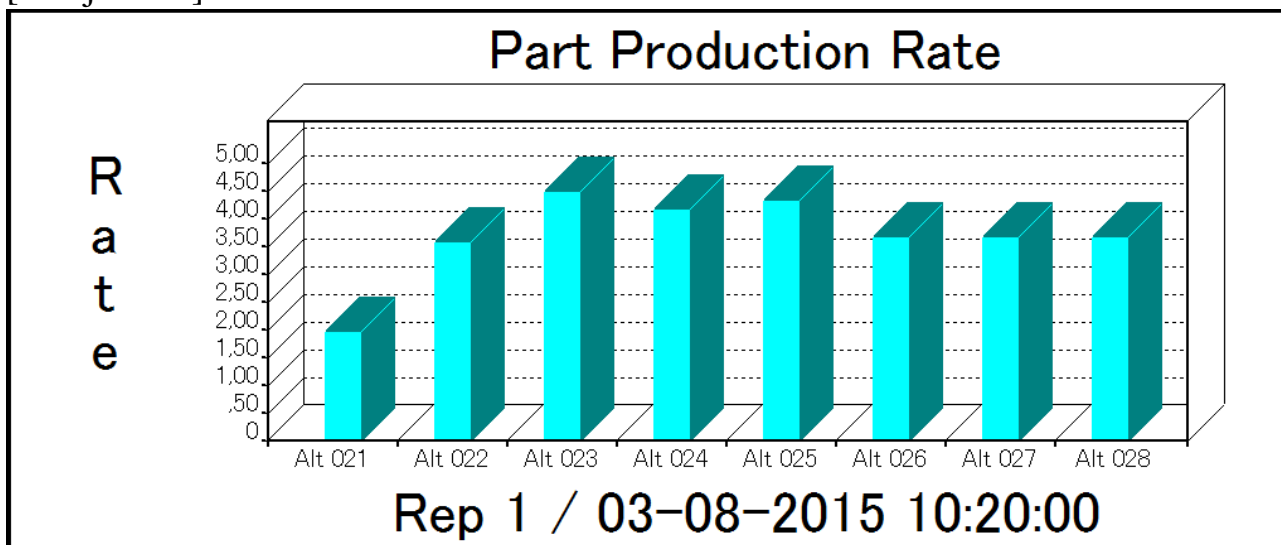
Příloha 12: Graf na obrázku zachycuje propustnost (Production Rate - PR) simulovaného výrobního systému. Se zvětšováním výrobní dávky propustnost klesá. Číslo simulační alternativy na obrázku odpovídá počtu kusů v dávce. [zdroj: autor]



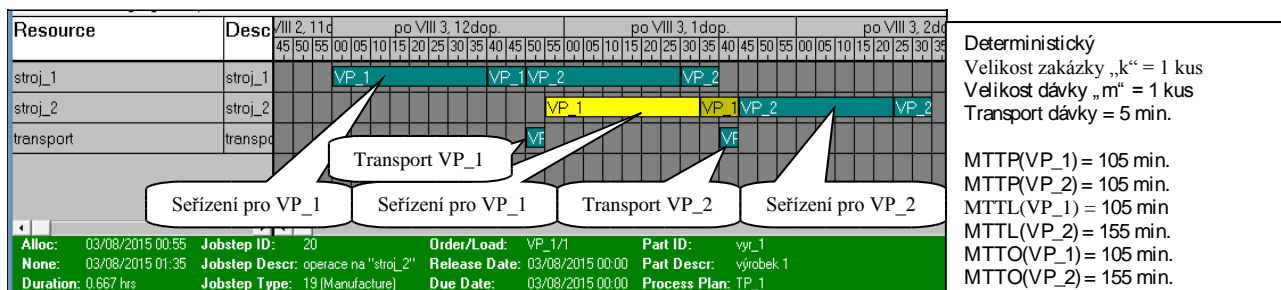
Příloha 13: Na obrázku je uvedeno grafické vyjádření PR pro jednotlivé alternativy simulačního modelu, kde jsou transportní časy menší než procesní časy. Velikosti výrobních dávek se pro alternativy mění a počet vyráběných dílců je konstantní. Ze simulace bylo zjištěno, že snižování PR je ovlivněno zvyšováním průběžných dob výroby. [zdroj: autor]



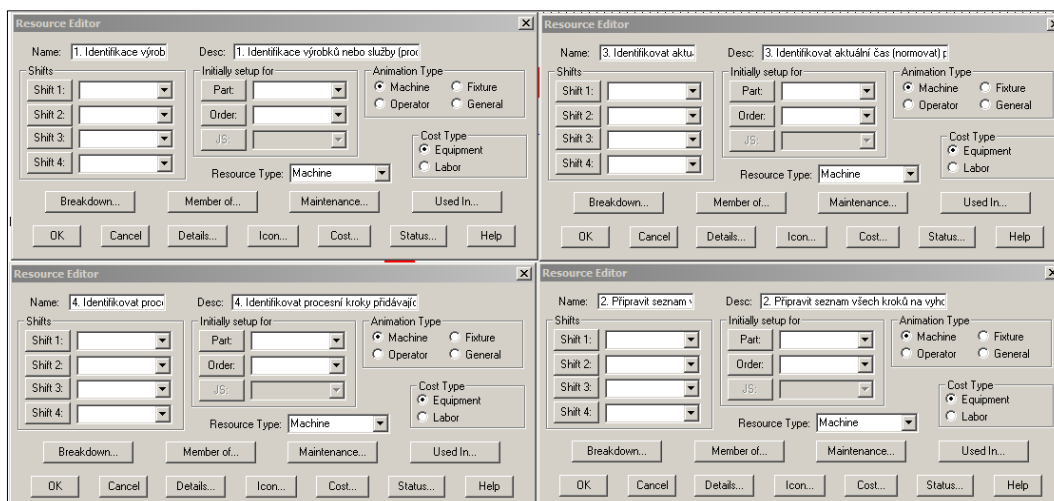
Příloha 14: Na obrázku je uvedeno grafické vyjádření PR pro jednotlivé alternativy simulačního modelu, kde jsou transportní časy větší než procesní časy. V grafu je zobrazeno, že maximální PR a nejkratší průběžné doby výroby jsou u velikosti dávek 3 kusy, podobně nízké hodnoty obou parametrů jsou i u dávek o velikosti 4 a 6 kusů. [zdroj: autor]



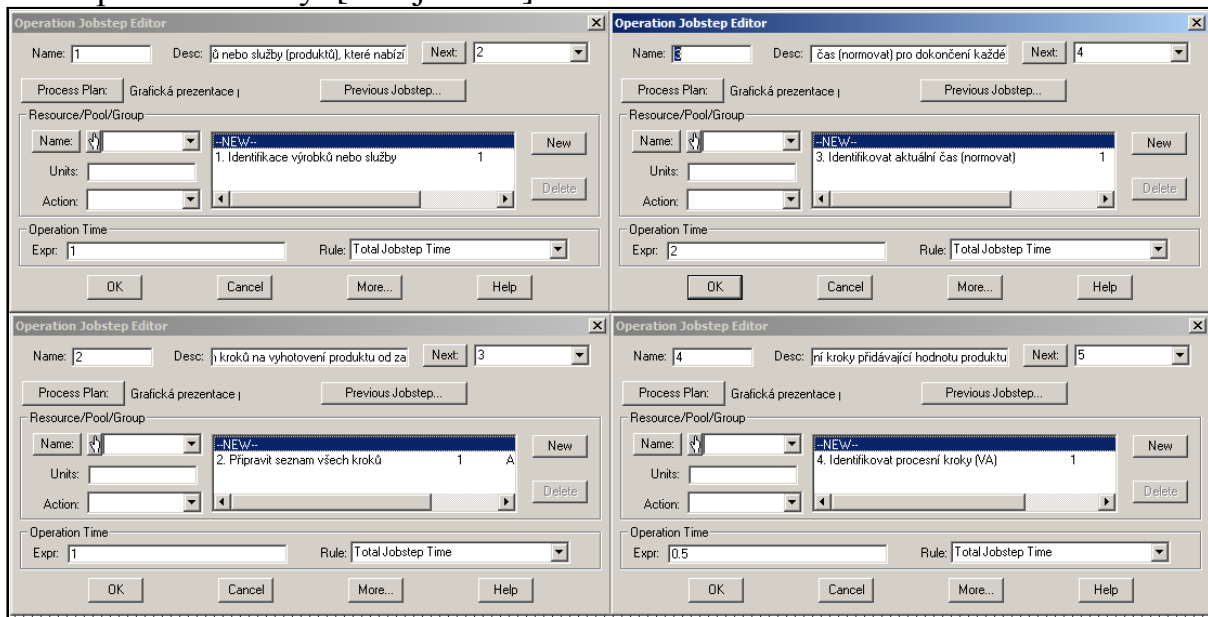
Příloha 15: Ganttův diagram pro zdroje na obrázku zachycuje délku trvání a typy jednotlivých operací včetně seřízení a transportu. V pravé části obrázku jsou uvedeny průběžné doby pro zakázky. Zařazení seřizovacích a transportních operací má vliv na navýšení průběžných dob. [zdroj: autor]



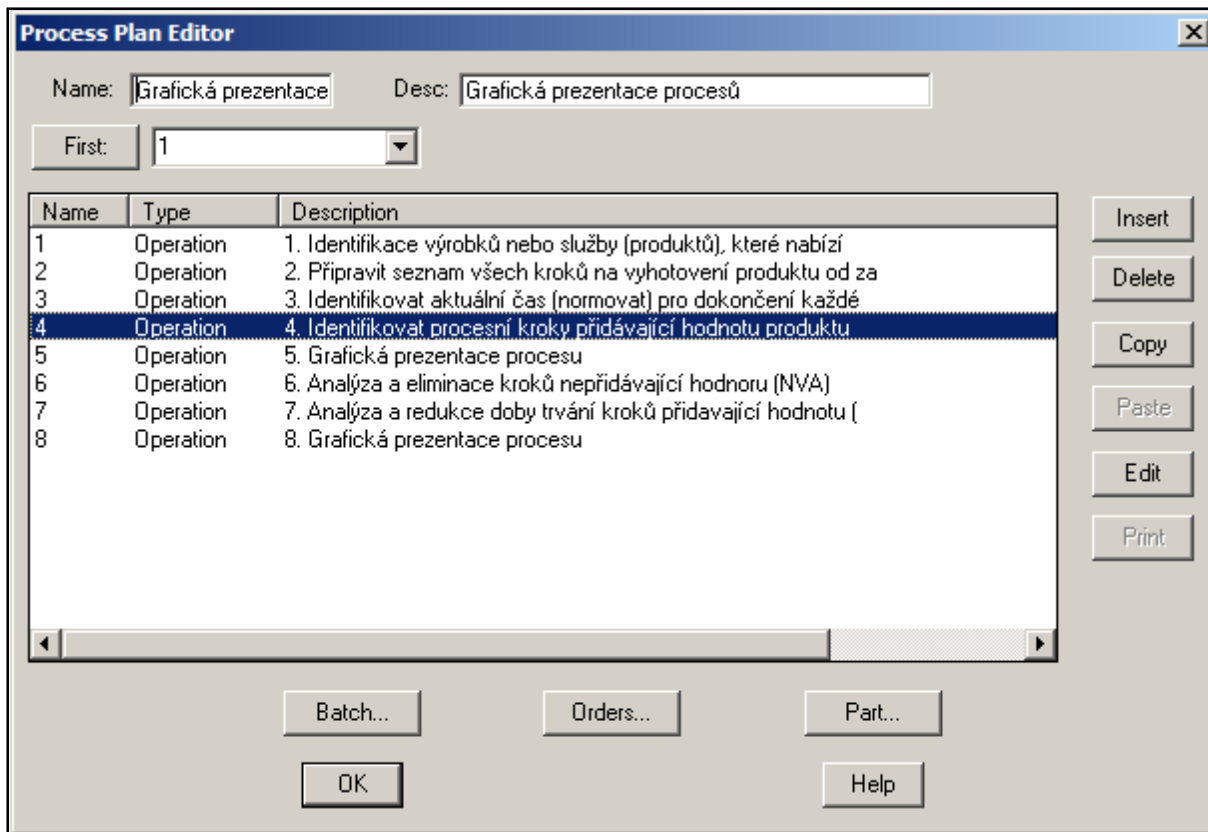
Příloha 16: Namodelování komponenty zdroje jako kroku procesu redukce průběžné doby [zdroj: autor]



Příloha 17: Definice procesních časů zdrojů, které reprezentují kroky procesu redukce průběžné doby. [zdroj: autor]



Příloha 18: Pomocí simulačního nástroje lze definovat procesní tok, jako tok jednotlivých kroků redukce průběžné doby za využití komponenty „Process Plan“. [zdroj: autor]



Návod na prípravu výrobních príkazů (VP)

Otvorit tabulku ORDERnnn

Zkopirovat řádek s ověřeným formátem

Doplnit položky

COSTBASIS	DESCR	DUEDATE	EXCESSCD	LDPERF	LOADSIZE	ORDERID	ORDSIZE	ORPERF	PARTID	PRIORITY	PROCPLANID
9008011514_1	1514_1	2.1.2015 10:00:00 A		Y	121381	9008011514_1	121381	Y	9008011514		0 9008011514

ORPERF	PARTID	PRIORITY	PROCPLANID	RELDATE	SCHEDFG	STATUSCD
Y	9008011514		0 9008011514	1.1.2015	Y	N

ORDERID musí být unikátní a nesmí se vyskytovat vícekrát v tabulce ORDERnnn.

Ostatní položky v řádku se nemění.

Návod na transfer dat z IS podniku do simulačného modelu

<u>JOBSTEP/DESCR 1 - popis procesu</u>	<u>MATL(PART)/DESCR 2 - popis dílce</u>	<u>JOBSTEP(JS19VR)/PROCPLANID - identifikace procesu nebo dílce</u>
HD-tváření	abc	90105W0007_HD
RL-válcování		90105W0007_RL
		90105W0007
OQ-kalení a popouštění		90105W0007_OQ
BZ_zinkování		90105W0007_BZ
<u>BOM/MATERIALID - identifikace dílce, který vstupuje do nadřazeného dílce</u>		<u>JOBSTEP/RESID1- zdroj nebo skupina zdrojů</u>
90105W0007_HD		H04
90105W0007_BZ		R03_R01resgrp
90105W0007_RL		Control_Q01_Q02_Q03
90105W0007_OQ		Control_A01
<u>JOBSTEP/STEPEXP – data podle STEPEXPRL</u>		<u>JOB STEP/STEPEXPRL určuje čeho se týká STEPEXP</u>
0.0833		STEPEXPRL = 0 pro dávkový čas [hod]
0.005		STEPEXPRL = 1 pro kusový čas [hod]
5000		STEPEXPRL = 8 pro počet ks/hod
....		
<u>JS19VR/RGID - zdroj nebo skupina zdrojů pro seřízení</u>		<u>JS19VR/STIMEXP - seřizovací čas v hod.</u>
H04		
R03_R01resgrp		
Control_Q01_Q02_Q03		
<u>JS19VR/COOLTIME = délka tepelných operací v hod. - čas nasypání</u>		<u>JS19VR/TABID - přeseřizovací tabulka</u>
		OQ-LAN_tabulka
		LAN_tabulka
<u>JS19VR/STIMEXPRL = 4 pokud se použije TABID, nebo =5 pokud se nepoužije</u>		<u>PULL/LOAD SIZE - velikost dávky</u>
	4	256000
	4	256000
	5	16000
		5000

U NEtepebných operací: STEPEXPRL = 8 pro počet ks/hod, COOLTIME=0 a STEPEXP udává počet ks/hod

U tepelných operací: STEPEXPRL = 0 pro dávkový čas a STEPEXP se udává čas nasypání dávky na pás a zároveň se vyplní COOLTIME = délka tepelných operací v hod. - čas nasypání

RESID1 a RGID jsou v tabulce RESGRP a RESRC

Ve výsledném excelovském souboru se nesmí vyskytovat prázdné řádky

PROCPLANID - identifikace procesu nebo dílce se nesmí dublovat

Format LOOKUP - přeseřizovací nebo jiný typ tabulky. Tabulka je matice, která má INDEX1 po ose Y a INDEX2 po ose X. SEQNUM je pořadové číslo (1, 2, 3,...) a VAL je požadovaná hodnota. TABID je název tabulky.

	DESCR	INDEX1	INDEX2	SEQNUM	TABID	VAL
	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	90105WD164_OQ	66	OQ-LAN_tabulk	3,13
▶	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	90119WD089_OQ	67	OQ-LAN_tabulk	3,13
	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	90119WD153_OQ	68	OQ-LAN_tabulk	3,13
	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	90119WD182_OQ	69	OQ-LAN_tabulk	3,13
	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	00605B0012_OQ	70	OQ-LAN_tabulk	3,13
	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	90105WD175_LAN	71	OQ-LAN_tabulk	0
	preserizeni OQ-	90105WD175_LAN	90119WD134_LAN	72	OQ-LAN_tabulk	0,13
	preserizeni OQ-	90119WD134_LAN	90105WD007_OQ	73	OQ-LAN_tabulk	0

Pole DESCR - nesmí být prázdná hodnota (Null)

Změnit desetinnou čárku na tečku v místním nastavení Windows a tato změna se projeví okamžitě v Excelu. V Accessu se neprojevuje.

PULL/LOADSIZE - velikost dávky nesmí být NULA - bylo vloženo fiktivní číslo 12345

Časy jsou v hodinách.