

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301V007 Průmyslové inženýrství a management

DISERTAČNÍ PRÁCE

MODEL ŘÍZENÍ ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZEK V NEOPAKOVANÉ VÝROBĚ

Autor: **Ing. Martin BEHÚN**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jana KLEINOVÁ, CSc.**

Akademický rok 2013/2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této disertační práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Ing. Behún	Jméno Martin
STUDIJNÍ OBOR	2301V007 „Průmyslové inženýrství a management“	
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulu) Doc. Ing. Kleinová, CSc.	Jméno Jana
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KPV	
DRUH PRÁCE	DISERTAČNÍ	
NÁZEV PRÁCE	Model řízení zpracování zakázek v neopakované výrobě	

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	167	TEXTOVÁ ČÁST	125	GRAFICKÁ ČÁST	42
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS	<p>Disertační práce se zabývá řízením zpracování zakázek v neopakované zakázkové výrobě v malých podnicích. Představuje nově navržený model, podle kterého je možno řídit pořadí uvolňování čekajících zakázek k opracování na pracovištích bez nutnosti tvorby optimalizovaného výrobního plánu. Je zohledňována nízká kvalita vstupních dat, časté odchylky skutečné výroby oproti plánu i možnost slučování zakázek dle jejich technologické podobnosti. Cílem modelu je dosáhnout minimalizace termínových odchylek a zkrácení průběžných dob výroby. K ověření navrženého modelu byl použit simulační software Plant Simulation.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	neopakovaná výroba, zakázková výroba, řízení výroby, řízení dle priorit, počítačová simulace

SUMMARY OF DISSERTATION SHEET

AUTHOR	Surname Ing. Behún	Name Martin
FIELD OF STUDY	2301V007 „Industrial Engineering and Management“	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kleinová,CSc.	Name Jana
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
TYPE OF WORK	DISSERTATION	
TITLE OF THE WORK	Model of order processing control in non-repetitive production systems	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	167	TEXT PART	125	GRAPHICAL PART	42
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	This thesis deals with job processing control in non-repetitive productions within a range of small companies. It introduces a new model to control the release of waiting jobs for manufacturing on a particular workstation when production delays and technological similarity is taken into account. The objective is to minimize the deadline deviations and shorten production lead times. Plant Simulation software was used to verify the model.
KEY WORDS	non-repetitive production, custom production, production control, priority control, computer simulation

KURZFASSUNG

AUTOR	Familiennname Ing. Behún	Vorname Martin
STUDIENGEBIET	2301V007 „Wirtschaftsingenieurwesen“	
BETREUER	Familiennname Doc. Ing. Kleinová,CSc.	Vorname Jana
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
ARBEITSTYPE	DISSERTATION	
TITEL	Modell für Auftragssteuerung bei Einzelstückfestigung	

FAKULTÄT	Maschinen- bau	STUDEIN- GANG	Wirtschafts- ingenieurwesen	ABGEGEBEN	2013
-----------------	-------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------	------

SEITENZAHL (A4)

TOTAL	167	TEXTTEILE	125	GRAPHIKEN	42
--------------	-----	------------------	-----	------------------	----

ZUSAMMENFASSUNG	Diese Dissertationsarbeit beschäftigt sich mit der Steuerung der Auftragsabwicklung in Kleinbetrieben. Sie stellt ein neu vorgeschlagenes Modell vor, welches die Sequenz der anstehenden Aufträge optimiert. Die niedrige Qualität der Eingangsdaten, die häufige Abweichungen zwischen dem Produktionsplan und der Wirklichkeit, sowie Möglichkeit eines Kombination der Aufträge nach ihrer technologischen Ähnlichkeit werden berücksichtigt. Das Modell sollte die Minimierung von den Terminabweichungen und die Verkürzung der Produktionszeit erreichen. Zur Verifikation des vorgeschlagenen Modells wurde eine Fabrik-Simulation-Software Plant Simulation verwendet.
SCHLÜSSELWÖRTER	Auftragssteuerung, Einzelstückfestigung, Management nach Prioritäten, Computer-Simulation

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	7
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
1.1 DEFINICE POJMŮ VÝROBA, VÝROBNÍ PROCES, VÝROBNÍ SYSTÉM	13
1.1.1 Výroba	14
1.1.2 Výrobní proces.....	15
1.1.3 Výrobní systém.....	16
1.1.4 Shrnutí	18
1.2 CHARAKTER A TYP VÝROBY	18
1.2.1 Charakter výroby.....	18
1.2.2 Typ výroby	19
1.2.3 Shrnutí.....	21
1.3 PŘEDMĚT ORGANIZACE A ŘÍZENÍ VÝROBY	23
1.3.1 Organizace výroby.....	24
1.3.2 Řízení výroby	25
1.3.3 Shrnutí	26
1.4 OPERATIVNÍ PLÁNOVÁNÍ VÝROBY	27
1.4.1 Operativní řízení výrobních procesů	28
1.4.2 Obecný model operativního plánování výroby	33
1.4.3 Shrnutí	37
1.5 VYBRANÉ PROBLÉMY Z OBLASTI ŘÍZENÍ VÝROBY	37
1.5.1 Průběžná doba výroby.....	37
1.5.2 Rozvrhování výrobních operací, sekvenční problém, řízení dle priorit	41
1.5.3 Teorie front.....	45
2 VYMEZENÍ OBLASTI ŘEŠENÍ, CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE A PRACOVNÍ HYPOTÉZY	49
2.1 VYMEZENÍ OBLASTI ŘEŠENÍ PRÁCE	49
2.2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	52
2.3 HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE	53
3 POUŽITÉ VĚDECKÉ METODY ZKOUMÁNÍ	54
4 NÁVRH MODELU ŘÍZENÍ ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZEK	57
4.1 SOUČASNÁ SITUACE V OBLASTI ŘÍZENÍ ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZEK	57
4.2 OBECNÝ MODEL ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZEK.....	59
4.2.1 Obecný model zpracování zakázek pozorovaný v praxi.....	59
4.2.2 Nově navržený obecný model.....	61
4.3 STANOVENÍ VÝROBNÍHO MNOŽSTVÍ ZADANÉHO DO VÝROBY	65
4.3.1 Výroba nepravidelné malosériové povahy.....	66
4.3.2 Výroba kusové neopakované výroby.....	69
4.3.3 Shrnutí	79
4.4 PLÁNOVÁNÍ ČASOVÉHO PRŮBĚHU VÝROBY ZAKÁZKY	83
4.4.1 Aktivní stav zakázky.....	85
4.4.2 Pasivní stav zakázky	95
4.4.3 Stanovení okamžiku uvolnění zakázky do výroby.....	102
4.4.4 Shrnutí plánování časového průběhu výroby zakázky	107
4.5 VÝROBNÍ FÁZE ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZKY	109
4.5.1 Řízení zpracování zakázek dle stupně plnění plánu - priorit	110
4.5.2 Řízení zpracování zakázek dle stupně vytížení kapacit	114
4.5.3 Návrh praktické realizace.....	121
4.5.4 Shrnutí	124
5 OVĚŘENÍ VYBRANÝCH HYPOTÉZ NAVRHOVANÉHO MODELU.....	126

5.1	OVĚŘENÍ VZTAHU PRO MASD	126
5.1.1	<i>Jednosměnný provoz:</i>	129
5.1.2	<i>Dvousměnný model.</i>	130
5.1.3	<i>Dvousměnný model s přestávkami</i>	132
5.2	POROVNÁNÍ ŘÍZENÍ DLE PRIORIT A FIFO.....	133
5.2.1	<i>Výchozí model</i>	133
5.2.2	<i>Model s nesouměrnými odchylkami časů opracování.</i>	136
5.2.3	<i>Model řízený dle opačných priorit</i>	137
5.3	SLUČOVÁNÍ VÝROBNÍCH DÁVEK DLE TECHNOLOGICKÉ PODOBNOSTI.....	137
5.3.1	<i>Simulace dle navrženého modelu řízení – kapacitní hranice fronty</i>	137
5.3.2	<i>Upravený model.</i>	143
5.4	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ SIMULAČNÍCH EXPERIMENTŮ	144
6	ÚPRAVA NAVRHOVANÉHO MODELU NA ZÁKLADĚ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘENÍ	146
6.1	NÁVRH ÚPRAVY MODELU V OBLASTI SLUČOVÁNÍ ZAKÁZEK	147
6.1.1	<i>Výpočet velikosti sloučené výrobní dávky</i>	149
6.1.2	<i>Určení hranice pro slučování zakázek</i>	150
6.2	OVĚŘENÍ UPRAVENÉHO MODELU SLUČOVÁNÍ TECHNOLOGICKY PODOBNÝCH ZAKÁZEK	154
7	PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE.....	157
7.1	PŘÍNOSY PRÁCE PRO VĚDU	157
7.2	PŘÍNOSY PRÁCE PRO PRAXI	159
8	DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ZKOUMÁNÍ DANÉ PROBLEMATIKY.....	162
	ZÁVĚR.....	163
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	164
	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	168
	SEZNAM PŘÍLOH	170
	PŘÍLOHA A - VÝSLEDKY SIMULAČNÍCH EXPERIMENTŮ PRO OVĚŘENÍ MASD	171
	PŘÍLOHA B – VÝSLEDKY SIMULACE PRO POROVNÁNÍ ŘÍZENÍ DLE FIFO A DLE PRIORIT	174
	PŘÍLOHA C – VÝSLEDKY SIMULACE PRO SLUČOVÁNÍ VÝROBNÍCH DÁVEK PODLE TECHNOLOGICKÉ PODOBNOSTI	176
	PŘÍLOHA D – VÝSLEDKY SIMULACE PRO UPRAVENÝ MODEL S OMEZENÝM SLUČOVÁNÍM TECHNOLOGICKY PODOBNÝCH ZAKÁZEK	182

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1-1 KOLOBĚH VÝROBNÍCH FAKTORŮ, ZBOŽÍ, SLUŽEB A KAPITÁLU VE FIRMĚ ([14], S. 2).....	13
OBR. 1-2 ABSTRAKTNÍ STRUKTURA PRODUKTIVNÍHO SYSTÉMU – VÝTĚŽNOST TRANSFORMAČNÍHO PROCESU [36].....	17
OBR. 1-3 ZNÁZORNĚNÍ VÝROBNÍHO SYSTÉMU [37]	17
OBR. 1-4 DĚLENÍ TYPŮ VÝROB PODLE LOGISTICKÉHO BODU ROZPOJENÍ [3].....	21
OBR. 1-5 PŘEHLED NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH FUNKCÍ SOUVISEJÍCÍCH S ŘÍZENÍM VÝROBY [14].....	25
OBR. 1-6 STRUKTURA ZÁKLADNÍCH MANAŽERSKÝCH FUNKCÍ NA RŮZNÝCH STUPNÍCH ŘÍZENÍ ([14], S. 30)	26
OBR. 1-7 ÚROVNĚ PLÁNOVÁNÍ Z HLEDISKA PLÁNOVACÍHO HORIZONTU [8]	27
OBR. 1-8 PRVKY SUBSYSTÉMU OPERATIVNÍHO ŘÍZENÍ	29
OBR. 1-9 INFORMAČNÍ TOK PLÁNOVÁNÍ ([46], S. 9)	31
OBR. 1-10 STRUKTURNÍ KUSOVNÍK PODLE VÝROBNÍCH STUPŇŮ [36].....	33
OBR. 1-11 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ NESOULADU POŽADOVANÝCH A DOSTUPNÝCH KAPACIT [37]	35
OBR. 1-12 VLV PRIORITYNÍCH PRAVIDEL NA OPTIMALIZAČNÍ CÍLE [37].....	36
OBR. 1-13 MODEL ČTVRTLETNÍHO OPERATIVNÍHO PLÁNU VÝROBY [36]	36
OBR. 1-14 VZTAH JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ PRŮBĚŽNÝCH DOB (UPRAVENO PODLE [37])	38
OBR. 1-15 SKLADBA PRŮBĚŽNÉ DOBY VÝROBY (UPRAVENO PODLE [5])	39
OBR. 1-16 POSTUPNÝ ZPŮSOB PŘEDÁVÁNÍ DÁVEK [37]	40
OBR. 1-17 SOUBĚŽNÝ ZPŮSOB PŘEDÁVÁNÍ DÁVEK [37]	41
OBR. 1-18 SMÍŠENÝ ZPŮSOB PŘEDÁVÁNÍ DÁVEK [37]	41
OBR. 1-19 DÍLENSKÁ (JOB SHOP) A PROUDOVÁ (FLOW SHOP) ORGANIZACE VÝROBY ([25], S. 20)	42
OBR. 1-20 SCHÉMA SYSTÉMU OBSLUHY (ZPRACOVÁNO DLE [20] A [35])	46
OBR. 2-1 KRITÉRIA ZAŘAZENÍ PODNIKU DO KATEGORIE MSP ([41], S. 13)	51
OBR. 4-1 KAUZÁLNÍ ANALÝZA SITUACE V KUSOVÉ VÝROBĚ	59
OBR. 4-2 TYPICKÝ PRŮBĚH ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZKY	60
OBR. 4-3 NÁVRH UPRAVENÉHO OBECNÉHO MODELU ŘÍZENÍ ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZEK.....	63
OBR. 4-4 INFORMAČNÍ TOK V MODELU	64
OBR. 4-5 VÝROBNÍ FÁZE MODELU	65
OBR. 4-6 FAKTORY PŮSOBÍCÍ NA VÝŠI NÁKLADŮ	67
OBR. 4-7 VARIANTY ŘEŠENÍ ZADANÉ ÚLOHY.....	68
OBR. 4-8 SCHÉMA STRUKTURY RIZIKOVOSTI OPERACE.....	73
OBR. 4-9 VÝROBA Z POLOTOVARU – VYUŽITÍ ZBYTKU MATERIÁLU	79
OBR. 4-10 NÁKLADY VÝROBNÍCH OPERACÍ PŘI VÝROBĚ PŘESNĚ OBJEDNANÉHO POČTU KUSŮ	80
OBR. 4-11 NÁKLADY VÝROBNÍCH OPERACÍ PŘI VÝROBĚ VĚTŠÍHO NEŽ OBJEDNANÉHO POČTU KUSŮ	81
OBR. 4-12 CELKOVÉ NÁKLADY – PODKLAD PRO VOLBU VÝROBNÍ VARIANTY	81
OBR. 4-13 KAUZÁLNÍ ANALÝZA – VÝROBA VĚTŠÍHO NEŽ OBJEDNANÉHO POČTU KUSŮ	82
OBR. 4-14 PASIVNÍ A AKTIVNÍ STAVY Z POHLEDU ZAKÁZKY	84
OBR. 4-15 SCHÉMA PRŮBĚHU ZAKÁZKY VÝROBOU – PASIVNÍ A AKTIVNÍ STAVY ZAKÁZKY	85
OBR. 4-16 UKÁZKA PROGRAMU SYSKLASS [HTTP://WWW.SYSKLASS.CZ]	86
OBR. 4-17 SKUTEČNÁ DOBA TRVÁNÍ VÝROBNÍ OPERACE – MOŽNÉ VARIANTY	88
OBR. 4-18 SLOŽKY MASD PRO $X > Y$	89
OBR. 4-19 SKUTEČNÁ DOBA TRVÁNÍ VÝROBNÍ OPERACE – MOŽNÉ VARIANTY	90
OBR. 4-20 SLOUČENÍ VŠECH PŘERUŠENÍ ČINNOSTI PRACOVIŠTĚ BĚHEM DNE DO SOUHRNNÉ POLOŽKY PASIVNÍHO STAVU	92
OBR. 4-21 REDUKCE ČASU AKTIVNÍHO STAVU PRACOVIŠTĚ DOSTUPNOSTÍ A (ZOHLEDNĚNÍ PORUCH)	94
OBR. 4-22 PŘÍKLAD PARETA PŘÍČIN PROSTOJŮ PRACOVIŠTĚ.....	94
OBR. 4-23 VÝPOČET ČEKÁNÍ ZAKÁZEK VE FRONTĚ NA OPRACOVÁNÍ	96
OBR. 4-24 ZNÁZORNĚNÍ TERMÍNU UVOLNĚNÍ DO VÝROBY PRO DŘÍVE A NOVĚ PŘIJATOU ZAKÁZKU	98
OBR. 4-25 DOPLNĚNÍ AKTUÁLNĚ NEVYUŽITÝCH VÝROBNÍCH KAPACIT PRACOVIŠTĚ LCJ ZAKÁZKAMI	100
OBR. 4-26 PŘETÍŽENÉ PRACOVIŠTĚ – ZPRACOVÁNÍ LCJ DOČASNĚ POZASTAVENO / OMEZENO	101
OBR. 4-27 UKÁZKA STANOVENÍ BEZPEČNOSTNÍHO OKNA PODLE UVAŽOVANÉ DOBY POTŘEBNÉ PRO ODSTRANĚNÍ PORUCHY (PRO BĚŽNÉHO I KLÍČOVÉHO ZÁKAZNÍKA).....	105
OBR. 4-28 STANOVENÍ BEZPEČNOSTNÍHO OKNA PRO DOKONČENÍ ZAKÁZKY	106
OBR. 4-29 UKÁZKY VÝROBNÍHO ROZVRHU VYTVOŘENÉHO PLÁNOVACÍM SOFTWAREM [55].....	107
OBR. 4-30 UKÁZKA ČASOVÉHO ROZVRHU ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZKY	108

OBR. 4-31 SCHÉMA ROZHODOVÁNÍ PŘI VÝBĚRU DALŠÍ ZAKÁZKY Z FRONTY	110
OBR. 4-32 VÝVOJ KOREKČNÍHO FONDU BĚHEM ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZKY	111
OBR. 4-33 AKTUALIZACE KOREKČNÍHO FONDU ZAKÁZKY PŘI PRŮCHODECH MILNÍKY.....	112
OBR. 4-34 VÝVOJ MEZIMILNÍKOVÉHO ZPOŽDĚNÍ.....	113
OBR. 4-35 MEZIMILNÍKOVÉ ZPOŽDĚNÍ A KOREKČNÍ FOND	114
OBR. 4-36 ÚZKÉ MÍSTO ZAKÁZKY	116
OBR. 4-37 VÝPOČET DOBY ČEKÁNÍ PRO JEDNOTLIVÉ ZAKÁZKY VE FRONTĚ	117
OBR. 4-38 ŘAZENÍ ZAKÁZEK VE FRONTĚ PŘI SLUČOVÁNÍ DLE JEJICH TECHNOLOGICKÉ PODOBNOSTI.....	120
OBR. 4-39 VYSVĚTLENÍ NAVRHOVANÉHO ZPŮSOBU ŘÍZENÍ POŘADÍ FRONTY (KOMBINACE SLUČOVÁNÍ A ŘÍZENÍ DLE PRIORIT)	121
OBR. 4-40 ZÁKLADNÍ MATERIÁLOVÝ A INFORMAČNÍ TOK	124
OBR. 5-1 SIMULAČNÍ MODEL PRO ZJIŠTĚNÍ MASD.....	127
OBR. 5-2 SROVNÁNÍ HUSTOTY VÝSKYTU PRO ROZDĚLENÍ UNIFORM A NEGEXP [NÁPOVĚDA SIMULAČNÍHO SOFTWARE PLANT SIMULATION]	128
OBR. 5-3 SIMULAČNÍ MODEL PRO POROVNÁNÍ VÝBĚRU Z FRONTY DLE FIFO NEBO PRIORIT	134
OBR. 5-4 SIMULAČNÍ MODEL – SLUČOVÁNÍ ZAKÁZEK	138
OBR. 5-5 VSTUPY A VÝSTUPY SIMULAČNÍHO MODELU	140
OBR. 5-6 VLIV OMEZENÍ OBJEMU SLUČOVÁNÍ (DEFINOVÁNÍ MAXIMÁLNÍHO POČTU SLOUČENÝCH ZAKÁZEK)	144
OBR. 6-1 POTVRZENÉ ČÁSTI MODELU A NALEZENÉ PROBLÉMY BĚHEM OVĚŘOVÁNÍ.....	146
OBR. 6-2 VELIKOST VÝROBNÍCH DÁVEK OD JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ VÝROBKŮ – ŘÍZENÍ DLE DÉLKY FRONTY....	148
OBR. 6-3 REDUKOVANÁ VELIKOST VÝROBNÍCH DÁVEK – OMEZEN MAXIMÁLNÍ MOŽNÝ POČET SLOUČENÝCH ZAKÁZEK.....	149
OBR. 6-4 VELIKOST SLOUČENÉ VÝROBNÍ DÁVKY	149
OBR. 6-5 ČASOVÉ SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ SLOUČENÉ VÝROBNÍ DÁVKY (VÝROBEK TYPU A)	150
OBR. 6-6 VZTAH $T_{A(MAX.)}$ A SKUTEČNÉ T_A	153
OBR. 6-7 VZTAH $T_{VD(MAX.)}$ A T_{VD}	154

SEZNAM TABULEK

TAB. 1-1 VÝROBNÍ FAKTORY [26].....	15
TAB. 1-2 SROVNÁNÍ TYPŮ VÝROB ([26], S. 40)	20
TAB. 1-3 CHARAKTERISTIKA TYPŮ VÝROBY PŘI ČLENĚNÍ DLE REAKCE NA OBJEDNÁVKU, PŘELOŽENO Z ([11], S. 300)	21
TAB. 1-4 ELEMENTÁRNÍ VÝROBNÍ TYPY DLE RŮZNÝCH KRITÉRIÍ [37].....	22
TAB. 1-5 PLÁNOVACÍ HORIZONTY ([46], S. 5)	28
TAB. 1-6 STRUKTURA PLÁNOVÁNÍ A ŘÍZENÍ VÝROBY ([46], S. 8).....	31
TAB. 1-7 PŘEHLED METOD PRO ŘEŠENÍ SEKVENČNÍHO PROBLÉMU (ZPRACOVÁNO NA ZÁKLADĚ [20])	43
TAB. 2-1 VYMEZENÍ ŘEŠENÉ OBLASTI	50
TAB. 2-2 CHARAKTERISTIKA VELIKOSTI PODNIKU DLE POČTU ZAMĚSTNANCŮ [TIDD, J. AJ., 2005]	50
TAB. 2-3 KATEGORIE PODNIKŮ ([41], S. 14)	51
TAB. 4-1 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ PŘI RŮZNÝCH HODNOTÁCH VSTUPNÍCH PARAMETRŮ	69
TAB. 4-2 VÝROBNÍ POSTUP	76
TAB. 4-3 PŘÍKLADY KLÍČOVÝCH PRVKŮ NASTAVENÍ PRO VYBRANÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	87
TAB. 4-4 PŘÍKLADY MOŽNÝCH KLÍČOVÝCH PRVKŮ PRO VYBRANÉ TECHNOLOGIE.....	118
TAB. 5-1 NASTAVENÍ PŘESTÁVEK	132
TAB. 5-2 PLÁN EXPERIMENTŮ	140
TAB. 6-1 ZÁKLADNÍ TYPY PRACOVÍŠŤ – CHARAKTERISTIKA A ZPŮSOB ŘÍZENÍ	148
TAB. 6-2 ORIENTAČNÍ HODNOTY KOEFICIENTU SEŘÍZENÍ	152

SEZNAM ZKRATEK

- ATO** (Assembly To Order) montáž na zakázku
- BOA** (Belastungsorientierte Auftragsfreigabe) plánování dle vytížení výrobních kapacit
- DBR** (Drum Buffer Rope) metoda vycházející z TOC – optimální využití úzkého místa
- ETO** (Engineer to Order) výroba a vývoj na zakázku
- EU** Evropská unie
- FIFO** (Firts In, First Out) řízení fronty - první dovnitř, první ven
- FMEA** (Failure Mode and Effects Analysis) analýza možného výskytu a vlivu vad
- HCJ** (High Cost Job) zakázka s vysokými výrobními náklady
- IS** informační systém
- JIT** (Just in Time) přístup k řízení výroby - správné zboží, ve správný čas, na správné místo
- LCJ** (Low Cost Job) zakázka s nízkými výrobními náklady
- LIFO** (Last In, First Out) řízení fronty - poslední dovnitř, první ven
- MASD** (Mean Active State Duration) průměrná doba trvání aktivního stavu zakázky
- MPS** (Master Production Schedule) hlavní výrobní plán
- MPSD** (Mean Passive State Duration) průměrná doba trvání pasivního stavu zakázky
- MRP** (Material Requirement Planning) plánování materiálových požadavků
- MSP** malé a střední podniky
- MTBF** (Mean Time Between Failure) střední doba mezi poruchami
- MTO** (Make to Order) výroba na zakázku
- MTS** (Make to stock) výroba na sklad
- MTTR** (Mean Time To Repair) průměrný čas opravy
- NVA** (Non Value Added) nepřidávající hodnotu
- PRI** (Priority) řízení dle priorit
- PSD** (Passive State Duration) doba trvání pasivního stavu zakázky
- RPN** (Risk Priority Number) číslo riskové priority
- TOC** (Theory of Constraints) teorie omezení

- TP** technologický postup
- TPM** (Total Productive Maintenance) zvýšení využitelnosti zařízení díky správné údržbě
- TPV** technická příprava výroby
- VA** (Value Added) přidávající hodnotu
- VSM** (Value Stream Mapping) metoda mapování hodnotového toku

ÚVOD

V průmyslové praxi se můžeme setkat s velkým množstvím různých podnikových funkcí, tou hlavní a základní je stále výroba. Úspěšnost jejího řízení je jedním ze základních parametrů určujících schopnost podniku přežít v tvrdém konkurenčním prostředí dnešní doby. Neexistuje žádný univerzální návod, jak výrobu řídit a organizovat. Příčinou je velká rozmanitost výrobních systémů, procesů a produktů. Racionální systém řízení musí vždy zohledňovat konkrétní prostředí, ve kterém má být nasazen. Pravidla úspěšně nastavená v jednom provozu mohou být jinde zcela nepoužitelná.

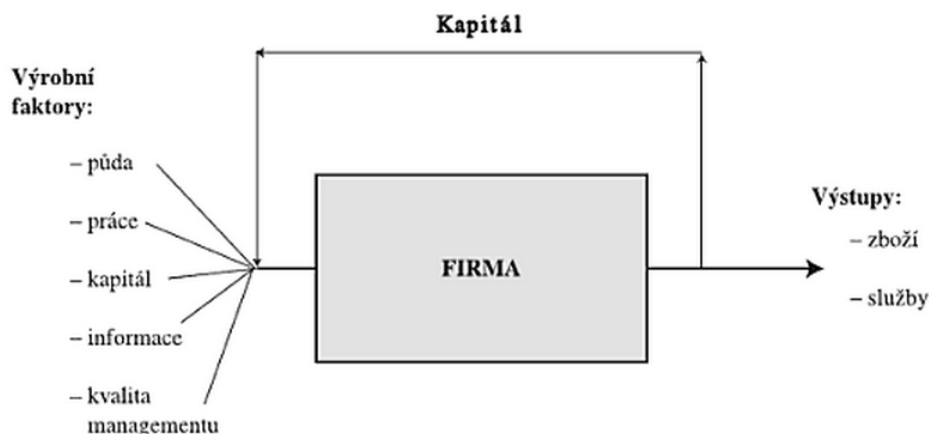
Pozornost odborníků je zaměřena především na oblast vysoce opakované výroby, zejména v odvětví automobilového průmyslu. Přestože malé podniky zabývající se neopakovanou zakázkovou výrobou mají nenahraditelnou hospodářskou roli, jsou poněkud opomíjeny. Významnější zvýšení úrovně řízení výroby v těchto podnicích představuje obvykle pouze nasazení informačních systémů. Ačkoli se jistě jedná o krok správným směrem, nedá se to považovat za nástroj, který sám o sobě zajistí zcela efektivní řízení.

V turbulentním prostředí neopakované výroby je potřeba se každý den vyrovnávat s velkým množstvím odchylek a výkyvů, které vznikají jak uvnitř podniku, tak i v jeho okolí. Běžné systémy řízení včetně počítačové podpory nejsou často dosti flexibilní, aby dokázaly na všechny objevující se problémy reagovat. Je proto jistě potřeba zabývat se myšlenkami, zda není možno poskytnout malým podnikům alternativní způsob, jak s minimem potřebných zdrojů a práce řídit efektivně jejich základní funkci. Pravděpodobně se nebude nikdy možno v tomto typu výroby obejít bez lidského potenciálu. Nicméně by měla být vyvíjena snaha o maximální podporu rozhodování, které musí pracovníci každý den provádět.

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Základním cílem každého podniku je generování zisku, který slouží nejen pro odměňování zaměstnanců, ale zejména pro zajištění jeho fungování a dalšího budoucího rozvoje. Tomuto hlavnímu cíli pak přizpůsobuje svoje ostatní provozní cíle. Jednotlivé organizace se vzájemně liší způsobem, jakým zisku dosahují, resp. jakou produkují hodnotu, která jim následně přináší výnosy. Organizace je možno rozdělit na dva základní typy. Prvními jsou ty, které produkují hmotné statky - zboží (primární sféra - zemědělství, sekundární sféra - průmysl), druhými jsou pak organizace, které poskytují nehmotné statky - služby (terciární sféra). Ačkoli se v moderních vyspělých společnostech zvyšuje poměr terciární sféry na úkor primární a sekundární, bez produkce hmotných statků se společnost nikdy neobejde. Proto je nutné se neustále věnovat jejich rozvoji.

Tvorby výsledného produktu (hmotných statků nebo služeb) je dosahováno pomocí transformačního procesu, který mění vstupní výrobní faktory na výstupní hodnoty. Jeden z možných obecných modelů fungování podniku, který realizuje transformační proces znázorňuje následující obrázek:



Obr. 1-1 Koloběh výrobních faktorů, zboží, služeb a kapitálu ve firmě ([14], s. 2)

Cílem řízení výroby je dosáhnout efektivního fungování transformačního procesu pomocí maximálního využití všech vstupů a odstranění plýtvání. Efektivitu můžeme hodnotit ukazatelem porovnávajícím objem vstupů a výstupů - tzv. ukazatel výnosnosti výrobních faktorů ([14], s. 2):

$$V = O / I \quad (1)$$

V ... ukazatel výnosnosti výrobních faktorů

O ... vyrobené statky (objem výstupů)

I ... spotřebované výrobní faktory (objem vstupů)

Aby mohl podnik dlouhodobě fungovat, musí být logicky hodnota ukazatele větší než 1.

Vzhledem k zaměření práce na výrobní oblast bude tato kapitola věnována výhradně sféře průmyslových podniků, respektive jejich organizaci a řízení na operativní úrovni.

1.1 Definice pojmů výroba, výrobní proces, výrobní systém

Na začátku je nutné definovat základní pojmy „výroba“, „výrobní proces“ a „výrobní systém“. Tyto tři základní pojmy jsou spolu úzce provázané. Podíváme-li se do současné literatury, zjistíme, že definice i obsahy těchto tří pojmů jsou vzájemně zaměňovány, někdy jsou mezi pojmy kladena rovnítka, jiní autoři v nich naopak spatřují rozdíly.

1.1.1 Výroba

Prvním pojmem, který je potřeba definovat, je výroba. Vzhledem k výrobnímu procesu a výrobnímu systému se jedná o zastřešující pojem. Zde jsou na úvod vybrané některé z mnoha definic, které se používají pro jeho vysvětlení:

- 1) Proces, při kterém dochází k přetváření zdrojů na produkty. [47]
- 2) Výroba je jakýkoli transformační proces, který může být řízen člověkem, nebo se o něj člověk zajímá a je považován určitou skupinou lidí za potřebný. [7]
- 3) Transformace výrobních faktorů do ekonomických statků a služeb, které následně procházejí spotřebou. Statky jsou z ekonomického pohledu fyzické komodity (vyráběné pro spotřebu nebo směnu) sloužící pro uspokojování potřeb. Služby jsou nehmotné statky a představují úkony, po nichž je poptávka. [14]
- 4) Podniková funkce představovaná procesem, jehož cílem je transformace vstupních prvků na výsledný produkt. Jedná se o centrální oblast výrobního podniku a jádro jeho existence. [36]
- 5) Výroba je prostředkem uspokojení potřeb vytvořením věcných statků a služeb. Je výsledkem cílevědomého lidského chování, kdy použitím vstupních faktorů zajišťuje příslušný transformační proces co nejhodnotnější výstup. Jedná se o účelnou kombinaci faktorů za účelem vytvoření věcných statků a služeb. [36]
- 6) Cílevědomá činnost zajišťující splnění cílů firmy. Výsledkem výroby jsou výrobky nebo služby. Výrobu tedy můžeme definovat jako systém jehož vstupy tvoří suroviny, materiály, polotovary, energie a informace a výstupy jsou výrobky nebo služby, odpad včetně emisí a informace. Okolí tohoto systému je tvořeno zákazníky, dodavateli, bankami, státem, pojišťovnami, konkurencí atd. [26]

Kromě výše uvedených definic, můžeme najít i mnohé další. Například lit. [20] uvádí definice výroby podle různých hledisek:

- *obecný pohled:* Výroba je tvorbou nových užitných hodnot (hmotných prostředků) v národním hospodářství, které společnost potřebuje ke své existenci a pro další rozvoj.
- *společenský pohled:* Výroba představuje výsledky práce (výrobky a výkony) určené jak pro výrobní, tak pro společenskou a individuální spotřebu.
- *technický pohled:* Výroba je přizpůsobování a přeměna pracovních předmětů za aktivní účasti lidské pracovní síly a pracovních prostředků na výrobek. Původní pracovní předmět během transformačního procesu mění své vlastnosti, např. tvar, barvu, chemické a fyzikální vlastnosti atd. Transformační proces je cílený, úmyslný, nikoli samovolný jako například u procesů probíhajících v přírodě.
- *systémový pohled:* Výroba představuje systém přeměny souboru určitých vstupních prvků (zdrojů) na určitý soubor výstupů (výrobků, výkonů) v určitých výrobních jednotkách.

Z uvedených definic je tedy vidět, že výroba je podniková funkce tvořená cíleně řízeným transformačním procesem, který získává vstupy (tzv. výrobní faktory) a ty cíleně transformuje na výsledné produkty (statky, služby). Produkty jsou následně spotřebovávány určitou skupinou lidí, pro které představují prostředky pro uspokojení jejich potřeb – přidanou

hodnotu. V širším smyslu je za výrobu možno považovat všechny činnosti, které přináší užitek.

1.1.2 Výrobní proces

Proces transformace výrobních faktorů na zboží či službu se nazývá výrobní proces a je realizován výrobním systémem. Ačkoli je u procesu použit přívlastek „výrobní“, je důležité si uvědomit, že výrobní proces a tím pádem i výroba probíhá nejen v průmyslových podnicích, ale také ve sféře služeb (například nemocnice, doprava, školy atd.) ([14],s. 7)

Jen pro úplnost uveďme definici procesu podle EN ISO 9000:2000: „Proces je soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně působících činností, který přeměňuje vstupy na výstupy“.

Výrobní proces je tedy transformační proces, který probíhá uvnitř výrobního systému a je determinován následujícími základními faktory ([14],s. 7):

- určením výrobku nebo služby,
- rozličností a množstvím výrobků (služeb),
- použitými technologiemi, uspořádáním a organizací výroby,
- stabilitou výroby a schopností reagovat na poptávku.

Podle [26] je výsledný charakter a výsledky výrobního procesu a potažmo i výrobního systému určen těmito faktory:

- vstupní faktory (materiál, informace, kapitál),
- sociální subsystém (lidé, organizační struktura),
- technický subsystém (technické prostředky, technologie),
- organizační struktura,
- výstupní faktory (produkt, informace, odpad),
- okolí výrobního podniku.

Následující tabulka uvádí nejen přehled výrobních faktorů, ale také dřívější a současnou terminologii:

FAKTOR	DŘÍVĚJŠÍ POJEM	OBSAH
Lidé	<i>Pracovní síla</i>	Lidská pracovní síla, práce
Technické prostředky	<i>Pracovní prostředky</i>	Stroje, zařízení, aparatury, přístroje, nástroje, nářadí, přípravky, budovy, komunikace, pozemky
Materiál a energie	<i>Pracovní předměty</i>	Suroviny, materiál, palivo, energie
Informace		Znalosti
Kapitál		Peníze apod.
Technologie		Soubor návodů k použití prostředků
Organizační struktura		Formální rámec a prostředí pro výkon skupinových činností
Produkt	<i>Výrobek</i>	Výrobky a služby

Tab. 1-1 Výrobní faktory [26]

Výrobní proces je mezičlánkem mezi vstupy do výrobního systému a výstupy z něj. Na začátku do procesu vstupují elementární faktory hmotné i nehmotné povahy. Potom díky těmto faktorům proběhne transformační výrobní proces například pomocí systému člověk-

stroj-prostředek. Výsledkem tohoto procesu je pak výstup ve formě hmotných statků a nehmotných služeb.

Výrobní procesy lze dělit podle složitosti na jednoduché a složité. Možné dělení je i podle výrobního programu na hlavní, vedlejší, pomocné, sdružené a obslužné. Mezi další kritéria pro dělení výrobních procesů zahrnujeme kritérium technologie; prostorového uspořádání; časového průběhu nebo objemu účasti působení člověka, přírody a techniky. [20]

Výrobní proces je tvořen výrobními operacemi, které představují jeho nejjednodušší základní části. Základní roli při posuzování charakteru výrobních operací má podíl nasazení lidské práce. Podle toho můžeme definovat [20]:

1. ruční operace – vykonávány pracovníkem nebo skupinou pracovníků čistě ručně, nebo s použitím pouze jednoduchých nástrojů, příklad: ruční montáž;
2. strojně ruční operace – využití strojů, avšak nutné působení fyzické síly pracovníka, stroj pouze vykonává určitou činnost, operaci, fungování však musí být přímo řízeno člověkem, příklad: ruční svařování;
3. strojní operace – na pracovní předmět přímo působí stroj, člověk pouze usměřuje a zajišťuje činnost mechanismu – zásobování materiálem, odebírání zpracovaných výrobků, kontrola chodu, měření, příklad: lisování;
4. aparaturní operace – využití speciálních agregátů, kde působí chemikálie a různé druhy energií, typický je tento druh operací pro chemickou výrobu;
5. automatizované operace – využití automatických strojů a přístrojů řízených počítačem – CNC, člověk již nezasahuje do chodu ani regulace, pouze dohlíží, příklad: CNC obrábění.

Existuje však i další, technické, kritérium pro dělení výrobních operací – podle podílu na kvantitativních změnách pracovních předmětů [20]:

1. technologické operace – základ výrobních operací, přeměna pracovních předmětů na polotovary a výrobky, souhrn technologických operací tvoří technologický proces;
2. netechnologické operace – zajišťují fungování technologických operací, patří sem manipulační a kontrolní operace, obvykle nepřidávají výrobku přidanou hodnotu.

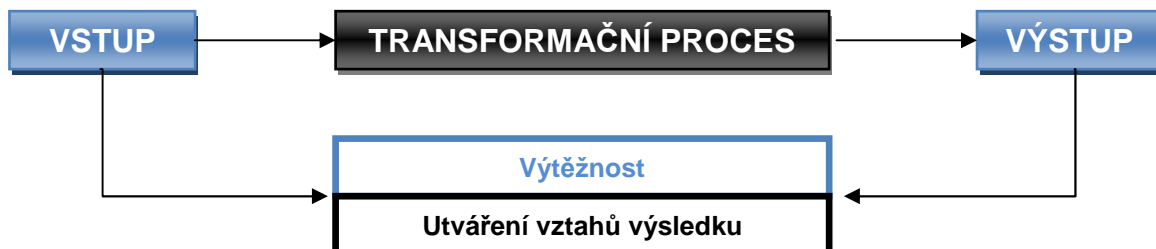
Uvedené dělení operací na technologické a netechnologické je blízké způsobu členění na operace přidávající hodnotu, za které je zákazník ochoten zaplatit (VA - Value Added), a operace nepřidávající hodnotu (NVA - Non Value Added). To se využívá při mapování hodnotového toku pomocí metody VSM (Value Stream Mapping). Cílem zeštíhlení výroby je pak maximální snaha o zvýšení poměru VA operací vůči NVA, což představuje redukci plýtvání.

1.1.3 Výrobní systém

Výrobní systém je neoddělitelně spojen s výrobním procesem. Často také bývají tyto dva pojmy vzájemně zaměňovány. Výrobní systém představuje systém konkrétního uspořádání, struktury a řízení výroby (resp. dává konkrétní reálnou podobu výrobnímu procesu).

Podle [36] má výrobní systém / proces tři základní elementy, které již byly zmíněny dříve:

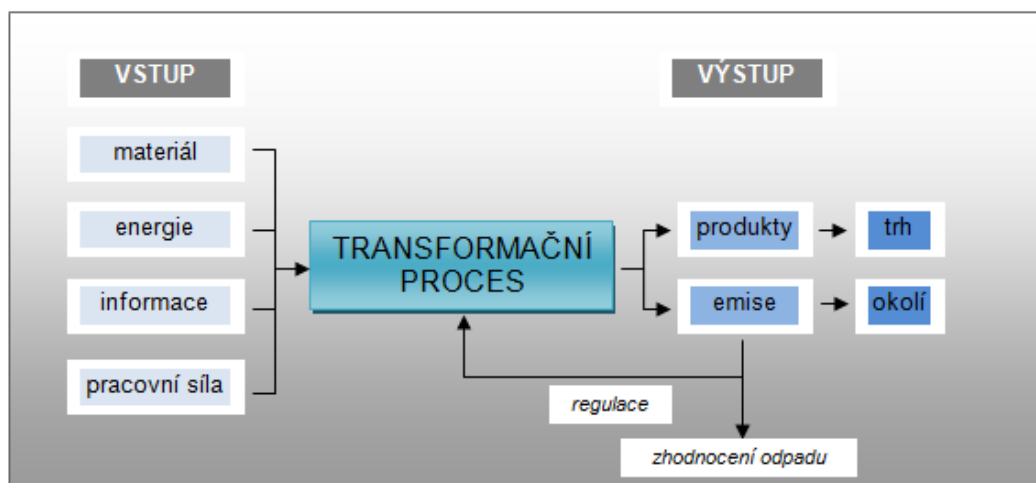
- 1) výstup – hmotné i nehmotné statky odpovídající odbytovému trhu;
- 2) vstup – všechny typy výrobních faktorů (budovy, stroje, lidské zdroje, materiál atd.), tvoří fyzický základ výrobního systému;
- 3) transformační proces – umožněný kombinací faktorů při dodržení určitého postupu.



Obr. 1-2 Abstraktní struktura produktivního systému – výtěžnost transformačního procesu [36]

Výstupy ze systému jsou představovány nejen cíleně produkovánými statky a službami, ale také produkty vznikajícími „nechtěně“. Cílem výrobního procesu není jejich tvorba, bohužel však jejich vzniku není možno zcela zabránit. Tyto nechtěné produkty jsou označovány jako emise a lze si pod nimi představit nejen zplodiny, ale také například zbytkový materiál.

Obecné schéma výrobního systému z hlediska fyzického výstupu nabízí následující obrázek:



Obr. 1-3 Znázornění výrobního systému [37]

Výrobní systém lze charakterizovat následujícím způsobem [37]:

$$S = (A, P, R, g)$$

- A ... množství výrobních úkolů, které má výrobní systém řešit
- P ... množství produktivních jednotek, které jsou k dispozici
- R ... matice reprodukcující vztahy mezi produktivními jednotkami
- g ... zobrazení, které přiřazuje každému úkolu produktivní jednotku

Výrobní systém má dvě základní vlastnosti [37]:

- kapacitu,
- elasticitu.

Kapacitou je chápána schopnost výkonu výrobní jednotky nebo výrobního systému libovolné velikosti, druhu či struktury v daném časovém okamžiku. Schopnost je nutno chápat ve dvou rovinách – kvalitativní a kvantitativní. Kvalitativní schopnost znamená množství různých druhů výkonů, které je kapacitní jednotka (například dílna) schopna podávat. Kvantitativní hledisko zohledňuje, zjednodušeně řečeno, počet kusů od daného druhu.

Jestliže je potřeba definovat maximální množství výrobků za období – kapacitu za období, je nutno zvažovat tři faktory, jejichž vynásobením dostaneme hledanou hodnotu kvantitativní kapacity:

- maximální intenzita výroby – nejvyšší rychlost výroby (produkce maximálního počtu kusů);
- maximální užitečný kapacitní průřez – počet stejných výrobních jednotek;
- maximální možný čas nasazení během období.

Elasticita je přizpůsobivost, představitelnost či pohyblivost výrobní jednotky (výrobního systému) při změně pracovních úkolů. Kvalitativní hledisko elasticity je představováno možností výroby různých druhů výrobků na daném výrobním zařízení (jednouúčelové x univerzální stroje). Kvantitativní stránka elasticity znamená schopnost výrobního systému reagovat pružně na změny v požadovaných objemech výroby.

V případě neopakované výroby, kterou se tato práce zabývá, jsou požadavky na kapacitu i elasticitu velmi výrazné.

1.1.4 Shrnutí

Shrňme-li závěrem vztah mezi třemi výše popisovanými pojmy (výroba, výrobní proces a výrobní systém), můžeme výrobu označit za jednu ze základních podnikových funkcí, jejímž cílem je uspokojovat lidské potřeby tvorbou hmotných i nehmotných statků. Tohoto cíle dosahuje pomocí transformačního procesu (přeměnou vstupních faktorů na výstupy), což je více konkrétní pojem. Výrobní proces pak probíhá ve výrobním systému, který si můžeme představit například jako továrnu nebo detailněji jako výrobní dílnu. Tento výrobní systém realizuje prakticky funkci výroby. Zmiňované pojmy bývají často vzájemně zaměňovány, záleží na úhlu pohledu. I z výkladu bylo zřejmé silné propojení a možnost vzájemného zaměňování pojmů. Z tohoto důvodu bude v dalších kapitolách někdy nahrazován pojem výrobní proces nebo výrobní systém komplexním pojmem výroba tak, jak je to v odborné literatuře obvyklé.

1.2 Charakter a typ výroby

Jak bude výrobní systém vypadat, je závislé na charakteru výrobku, trhu, objemu výroby, šíři sortimentu, typu poptávky, používaných technologiích atd. [14]

1.2.1 Charakter výroby

První dělení výroby vychází z charakteru výrobního programu [20]:

- základní výroba - vychází ze základního výrobního programu;
- vedlejší výroba - výroba součástí a příslušenství pro výrobky ze základního výrobního programu;
- doplňková výroba - lepší využití výrobního zařízení (využití odpadů, kooperace);
- přidružená výroba (nesouvisí se základním výrobním programem).

Podle charakteru výrobní technologie rozlišujeme výrobu [30]:

- mechanickou,
- chemickou,
- biologickou a biochemickou,
- výrobu energií.

1.2.2 Typ výroby

První dělení typu výroby může být podle plynulosti výrobního procesu ([14],s. 9):

- plynulá (kontinuální) výroba,
- přerušovaná výroba.

S plynulou výrobou se obvykle setkáváme v chemickém průmyslu nebo při výrobě surové oceli. Základním rysem je nepřetržitý provoz po celých 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Samozřejmě výjimkou jsou technologické odstávky z důvodů oprav, pravidelné údržby apod. Tento charakter nepřerušované výroby je dán technologickými požadavky výrobního procesu. Z ekonomického nebo spíše technického důvodu není možné výrobu přerušovat. Některé výrobní procesy zkrátka vyžadují, aby jednotlivé kroky probíhaly těsně po sobě a vše plynule navazovalo.

Přerušovaná výroba, jak již název napovídá, nemusí probíhat nepřetržitě, ale je možno ji v určitých okamžicích přerušit. Není zde nutné z technických důvodů pracovat na tři směny a výroba může být realizována pouze v pracovní dny. Obvyklým příkladem je strojírenská výroba.

Často používané dělení je podle množství výrobků vyráběných najednou na základě daného projektu výroby. Jinak řečeno je zohledněn počet vyráběných druhů produktů a zároveň počet měrných jednotek od každého druhu. Typy výroby jsou pak následující:

- Kusová výroba – je charakteristická velkým počtem vyráběných druhů, ale malým počtem vyráběných jednotek. Obvyklá je výroba na základě individuální zákaznické poptávky. Výrobní zařízení je univerzálního charakteru s technologickým uspořádáním pracovišť. Jsou zde vysoké požadavky na kvalifikaci operátorů ve výrobě. Problémy jsou se složitým řízením a plánováním výroby, dlouhými dodacími lhůtami. Zatímco fixní náklady jsou oproti ostatním typům výrob nižší, kusové variabilní náklady vykazují strmý růst.
- Sériová výroba – se vyznačuje menším počtem druhů oproti kusové výrobě, naopak větším počtem vyráběných kusů od jednoho druhu. Podle počtu vyráběných kusů se pak sériová výroba dále dělí na malo-, středně- a velkosériovou. Produkce probíhá v dávkách, které se v průběhu času opakují. Přejít od zcela univerzálních strojů k více specializovaným strojům. Problémem je změna seřízení výrobního zařízení při přechodu na výrobu nové verze (jiné dávky). Tento typ výroby je uplatněn například v automobilovém a leteckém průmyslu.
- Hromadná výroba – má pouze malý omezený počet druhů výrobků, někdy i pouze jeden typ výrobku. Výroba se uskutečňuje ve velkých objemech, z čehož následně plynou nízké výrobní náklady na jednotku produkce. Objevuje se zde významná opakovanost a stabilita výroby. Stroje jsou úzce specializované, jednoúčelové, hojně se využívá nejrůznější automatizace a mechanizace. Kvalifikace pracovníků je vzhledem k povaze procesu nízká. Problémem hromadné výroby je jednotvárnost práce.

- Druhov^á výroba – je speciálním případem výroby hromadné. Jeden základní hromadně vyráběný produkt je vyráběn ve více variantách. Jednotlivé varianty se mírně odlišují tvarem, barvou apod. Je nutné, aby výroba byla do určité míry flexibilní. Při řízení je upřena pozornost na velikost zakázek a pořadí zpracování druhů. Příkladem může být výroba brýlových čoček - jeden základní produkt (brýlová čočka) s mnoha variantami optických mohutností, materiálů a povrchových úprav.

Ukazatel	Kusová výroba	Sériová výroba	Hromadná výroba
Množství výrobků jednoho typu za rok	Malé (desítky)	Velké (sta až tisíce)	Velmi velké (desetitísíce)
Počet druhů výrobků	Velký (sta)	Menší desítky	Malý
Počet typů výrobků	Velký (desítky)	Malý (do desíti)	Velmi malý (1-3)
Opakování výroby výrobků stejného typu	Nepřavidelné, resp. žádné	Pravidelné (týdenní, měsíční)	Nepřetržitá výroba
Uspořádání provozů, resp. dílen	Technologické, v některých částech předmětné	Předmětné, v některých částech technologické	Předmětné
Výrobní a dopravní zařízení	Univerzální, unikátní	Univerzální, některé součásti se vyrábějí na linkách	Specializované, jednoúčelové linky
Úroveň technologických postupů	Nerozčleněné, normy času globální	Rozčleněné, typové postupy, podrobné normy času apod.	Co nejpřesnější pro každý úkon (návodky)
Kvalifikace dělníků	Velká	Dobrá	Nízká
Průběžná doba výroby	Dlouhá (měsíc až rok)	Kratší (týdny až měsíce)	Krátká (dny až týdny)
Specializace pracovišť hlavní výroby	Malá (desítky různých operací za měsíc)	Částečná (pracoviště zpracovávají omezený počet výrobků)	Úplná
Materiálové toky	Dlouhé	Krátké	Minimalizované
Průběh součástek pracovišti	Postupný, částečně kombinovaný	Kombinovaný, výjimečně souběžný (velkosériová výroba)	Souběžný, v dávkách nebo jednotlivě
Způsob odvádění dílů	Neopakované odvádění	Opakované odvádění	Neustálé odvádění
Možnost změny výrobního programu	Snadná	Obtížná	Velmi obtížná
Plánování a řízení	Obtížné	Lehčí	Lehké
Využití výrobního zařízení	Nízké	Dobré	Velmi dobré
Náklady na jednotku produkce	Vysoké	Poměrně nízké	Nízké
Výrobní zásoby	Relativně vysoké	Malé	Minimální

Tab. 1-2 Srovnání typů výrob ([26], s. 40)

Dalšími kritérii pro dělení typů výrob může být například objem využití jednotlivých výrobních faktorů (materiál, pracovní síla, informace, stroje).

Častým typem členění, který je běžně používán především v zahraniční literatuře, je dělení dle logistického bodu rozpojení, můžeme se také setkat s označením RTO (Respond To Order – česky „reakce na objednávku“). Jsou definovány čtyři základní typy výroby, které literatura [3] popisuje takto:

MTS (Make to Stock) – výroba na sklad, a to i včetně montáže, v okamžiku přijímání rozhodnutí o zařazení do výrobního plánu jsou známy veškeré údaje o výrobku;

ATO (Assembly to Order) – montáž na zakázku, ze stávajících standardních součástí a podsestav je vytvářena nová finální sestava dle přání zákazníka, např. sestavení automobilu dle přání zákazníka;

MTO (Make to Order) – výroba na zakázku pro konkrétního zákazníka realizovaná dle víceúrovňových kusovníků, finální provedení produktů může být vytvářeno dle přání zákazníka, nebo za jeho přímé účasti pomocí tzv. konfigurátorů produktu;

ETO (Engineer to Order) – vývoj a výroba na zakázku, vše se vyvíjí na základě nového konkrétního zadání od zákazníka, na základě specifikací od zákazníka je tvořena výrobní dokumentace a následně prováděna výroba. Pro podnik se jedná o nejsložitější případ.

Přehlednou charakteristiku jednotlivých typů výroby nabízí následující tabulka podle prof. A. V. Hilla:

RTO strategie	Koncept	Zásoby	Dodací lhůta	Příklad
MTS	Standardní produkty postavené dle předpovědi (výhledů), zásoby vytvářeny ještě před poptávkou.	Velké zásoby hotových výrobků. Obvykle má také rozpracovanou výrobu a surový materiál.	Pouze doba nutná k dodání hotových dílů k zákazníkovi.	Zdravotnické prostředky, výrobky pro mnoho zákazníků.
ATO	Standardní moduly montované dohromady dle objednávek zákazníků.	Zásoby modulů. Obvykle má také rozpracovanou výrobu a surový materiál.	Pouze doba nutná pro montáž a dodání zboží.	Počítače sestavované na zakázku. Speciálním případem je balení na zakázku.
MTO	Surové materiály přetvářené do podoby hotových výrobků dle objednávek zákazníků.	Běžné zásoby surového materiálu. Je možné zavést téměř nulové zásoby.	Výroba, montáž, dodání a případně doba nutná pro zajištění materiálových vstupů.	Zakázkové oblečení, vstříkované díly. Speciálním případem je tisk na zakázku.
ETO	Design je vyvíjen a vyráběn dle objednávek zákazníků.	Potenciálně bez zásob. Mohou být zásoby standardních komponent a surových materiálů.	Návrh konstrukce, výroba, montáž a doba dodání.	Zakázková vlastní stavba domu, zakázkové tištěné spoje.

Tab. 1-3 Charakteristika typů výroby při členění dle reakce na objednávku, přeloženo z ([11], s. 300)

Na obrázku Obr. 1-4 je vyznačeno, kde se u jednotlivých typů výrob nacházejí body rozpojení (červená čára). Ty definují, kam až je proces řízen zákazníkem a kde je naopak ještě závislý na firmě.

Surovina	Komponenty	Podsestavy	Finální výrobky	Typ výroby
Nákup	Výroba	Montáž	Expedice	
			výroba na sklad	MTS
		montáž na zakázku		ATO
	výroba na zakázku			MTO
nákup a výroba na zakázku				ETO

Obr. 1-4 Dělení typů výrob podle logistického bodu rozpojení [3]

1.2.3 Shrnutí

Kapitola 1.2 pojednávala o možných způsobech klasifikace výroby (výrobních systémů). Dobrý komplexní přehled o možných typech výroby z hlediska výrobku, procesu a faktorů poskytuje následující tabulka:

HLEDISKO ELEMENTÁRNÍHO TYPU		ELEMENTÁRNÍ TYP VÝROBY		
VÝROBEK				
počet nabízených jednotek	jednotlivá výroba			výroba více výrobků
vliv odběratele	výroba přímo orientovaná na zákazníka			výroba nepřímo orientovaná na zákazníka
stupeň specifikace konečného výrobku zákazníkem	zákaznická produkce			tržní produkce
PROCES				
počet použitých výrobních jednotek	jednostupňová			vícestupňová
opakovanost	kusová	sériová		hromadná
organizace	díleňská (výkonový princip)		proudová (objektový princip)	
uspořádání / výrobní systémy	pracoviště	produkční centra		proudová
časový soulad	globálně	částečně		podle taktu
časové přiřazení výroby k výrobní jednotce	výměnná výroba			paralelní výroba
kontinuita výrobního toku	diskontinuální			kontinuální
spojitost	nespojité			spojité
stupeň vývoje výrobní techniky	ruční	strojní	částečně automatizovaná	plně automatizovaná
působení na vstupní suroviny (materiál)	analytický proces	syntetický proces	analyticko-syntetický proces	neutrální proces
procesní technologie	fyzikální	chemická	jaderná	biologická
ovladatelnost procesu	plně			neúplně
FAKTORY				
spojení s místem	faktory spojené s místem			i výrobek spojený s místem
ekonomická váha	pracovně intenzivní		materiálově intenzivní	na zařízení intenzivní
opakovatelnost opatřování	jednorázově		ohraničeně	neohraničeně

Tab. 1-4 Elementární výrobní typy dle různých kritérií [37]

1.3 Předmět organizace a řízení výroby

V předchozích kapitolách byly vysvětleny pojmy výroba, výrobní proces a výrobní systém. Bez jasného porozumění těmto pojmům by bylo obtížné popisovat, co je vlastně předmětem a cílem řízení výroby.

Literatura [20] popisuje předmět organizace a řízení výroby jako uspořádávání a zabezpečování vzájemných vztahů a fungování proměnlivých činitelů výrobního procesu. Při tom se vychází jak z obecných pravidel a zásad pro organizaci a řízení, tak také z konkrétních výrobních podmínek. Obecná pravidla se týkají uspořádání a koordinace prvků, operací, procesů a výrobních jednotek a jsou to:

- zásada nepřetržitosti výrobního procesu,
- zásada proporcionality,
- zásada souběžnosti,
- zásada rytmičnosti,
- zásada specializace,
- zásada plánovitosti.

Zásada nepřetržitosti výrobního procesu – věnuje se časovému hledisku průběhu výrobního procesu. Čím větší je nepřetržitost výrobního procesu, tím nižší budou průběžné doby výroby a výrobní náklady při současně rostoucím objemu produkce. Každé přerušení výrobního procesu (čekání, prostoj) znamená snížení úrovně nepřetržitosti a tím i zdroj plýtvání.

Zásada proporcionality – proporcionalita ovlivňuje nepřetržitost. Jde o to dosáhnout proporcionality ve všech vztazích, které ve výrobních procesech a systémech vznikají. Je to důležité pro co nejkratší časový průběh a plynulost výroby. Tuto zásadu je potřeba důkladně zvažovat při projektování nových systémů nebo při jejich změnách.

Zásada souběžnosti – jedná se o souběžné vykonávání stejných nebo různých činností při výrobě určitého produktu. Souběžná produkce umožňuje významně zkracovat průběžné doby výroby a lépe využívat dostupné zdroje výrobních systémů. Souběžnost nevzniká samovolně, ale je pro ni potřeba vytvářet podmínky – propojovat výrobní předměty (např. současné obrábění více obrobků), procesy (např. kontrola během manipulace) atd. Své uplatnění však tato zásada najde jen v určitých typech výrob.

Zásada rytmičnosti výrobního procesu – tato zásada je úzce propojena s předchozími třemi uvedenými zásadami. Rytmus je v tomto případě uvažován jako pravidelnost a rovnoměrnost. Cílem je vyrábět rovnoměrně během stejných časových intervalů a výrobní procesy opakovat.

Zásada specializace – při specializace dochází ke snižování výrobního sortimentu a zároveň růstu objemů výroby. To umožňuje zhradňovat výrobu, zvyšovat produktivitu práce a snižovat výrobní náklady, což je důvodem úspěchu vysoce opakovaných výrob. Na druhou stranu je potřeba při rostoucí specializaci dbát na zachování vzájemné míry spolupráce. Definují se tři druhy specializace:

- předmětná specializace – soustředění výroby určitých druhů (typů) výrobků;
- součástková specializace – soustředěná výroba součástí nebo uzlů montážních sestav;
- technologické specializace – specializace podle typů technologií.

Zásada plánovitosti – základní nástroj řízení činností. Velký význam má operativní řízení, které vychází z určené organizační struktury, pohybu prvků výroby v prostoru a čase, rozpisu

výroby atd. Cílem operativního řízení je udržovat chod výrobní soustavy a zajišťovat její plynulý chod.

1.3.1 Organizace výroby

Jestliže budeme považovat pojem organizace za „způsob uspořádání“, pak organizace výroby představuje způsob uspořádání výroby (výrobního systému / výrobního procesu).

Pozn.: V literatuře je obvykle organizace výroby označována jako organizace výrobního procesu.

Organizace výroby je uspořádání výrobního procesu stejně jako výrobních jednotek v prostoru a čase. Při návrhu organizace výroby je potřeba brát do úvahy dříve uvedené zásady, soulad dílčích procesů a fází výroby, materiálové toky, časový průběh výroby, dělbu práce, integraci, diferenciaci a koncentraci výroby, mechanizaci a automatizaci. Důležité je nalezení souladu mezi hlavními, pomocnými a obslužnými výrobními procesy. Samozřejmým cílem je navržení struktury, která bude plně funkční, plynulá (nepřetržitá), dosahující minimálních průběžných dob, efektivně využívající všechny zdroje včetně informačních a zajišťující požadovanou produktivitu práce. [20]

To, jakým konkrétním způsobem dojde ke spojení lidských a věcných prvků v prostoru a čase, určuje formu organizace výrobního procesu. Při tom by měly být respektovány dříve uvedené zásady proporcionality, paralelnosti, rytmičnosti, nepřetržitosti a specializace. Existuje množství faktorů, které volbu formy organizace ovlivňují: počet druhů a množství výrobků, velikost a stálost jejich potřeby, stupeň specializace a koncentrace výroby, prostorové uspořádání, způsob pohybu výrobních činitelů, manipulace s materiálem, plynulost, rytmičnost a specializace výroby, technické vybavení pracovišť a pracovníci.

Pro organizaci výrobního procesu existují tři základní formy [18], [19], [20]:

1. Fázová forma organizace výroby se uplatňuje především ve výroбах s neopakovaným či nepravidelně opakovaným odváděním výrobků. S tím souvisí časté změny výroby jednotlivých produktů, pro které je nutné zajistit dostatečnou univerzálnost zařízení podpořenou technologickým uspořádáním pracovišť. Díly jsou mezi operacemi předávány postupně (nízká úroveň souběžnosti vykonávaných operací). Tím vznikají vysoké mezioperační zásoby a dlouhé průběžné doby výroby, což ve svém důsledku může způsobit nízkou efektivitu výroby. Výhody a nevýhody této formy je možno definovat podobně jako u kusové výroby.

2. Skupinová forma organizace výroby je na vyšším stupni než výroba kusová. Pracoviště jsou již uspořádána předmětně, avšak ještě ne v proudu. Výrobní zařízení jsou stále ještě univerzálního charakteru, ale je možné provést jejich specializaci pomocí různých přípravků. Není vyžadován ustálený výrobní program, protože změna výroby je stále poměrně jednoduchá. Podle způsobu zadávání, průběhu a odvádění výrobku rozlišujeme:

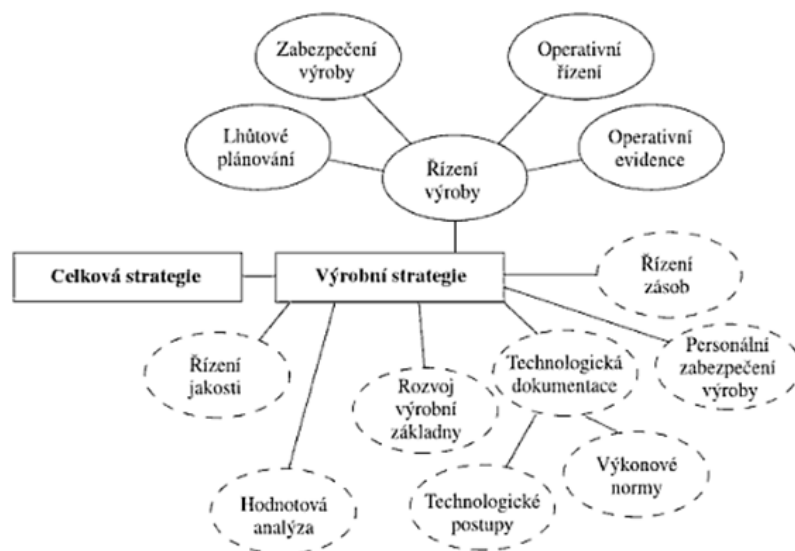
- periodickou skupinovou výrobu – u každé operace či dílčího procesu se opakuje stejná skladba součástí, výrobků nebo prací v pravidelných časových intervalech;
- neperiodickou skupinovou výrobou – práce a odvádění součástí a dávek se opakuje nepravidelně, změna výrobního programu v jednotlivých obdobích.

3. Proudová forma organizace výroby je charakteristická předmětným uspořádáním pracovišť, avšak na rozdíl od skupinové formy organizace ve sledu technologického postupu. Je zde vysoký stupeň rytmičnosti, proporcionality a synchronizace. Výrobní proces je přesně

rozdělen na jednotlivé operace prováděné na specializovaných pracovištích. Každá operace je jasně přiřazena ke konkrétnímu operátorovi. S tímto typem organizace výroby se setkáme obvykle v sériové a hromadné výrobě, pro kterou je typická úzká specializace na výrobu jednoho nebo jen několika málo druhů výrobků. Proudová forma organizace vykazuje ze všech tří typů nejvyšší efektivitu, nejkratší průběžnou dobu výroby a nejnižší náklady. Nevýhodou je malá schopnost přizpůsobení se změnám výrobního programu a negativní dopad na lidskou psychiku.

1.3.2 Řízení výroby

Řízení výroby je pro chod výrobního systému a výrobních procesů naprosto nepostradatelné a jeho úroveň do značné míry předurčuje, jak bude výroba dosahovat svých cílů. Při tom sehrává významnou roli organizace výroby, která byla popsána v předchozí kapitole. Řízení výroby organizované proudovou formou bude odlišné od řízení výroby fázové. Řízení výroby je napojeno i na řízení ostatní podnikových funkcí – marketing, technická příprava výroby, zabezpečování materiálových vstupů, jakost, řízení lidských zdrojů a řízení financí. [14]



Obr. 1-5 Přehled nejdůležitějších funkcí souvisejících s řízením výroby [14]

Řízení výroby je cílevědomé působení na výrobu, zabezpečení souladu a souvztažnosti mezi všemi výrobními jednotkami, prvky a procesy (operacemi), aktivizace tvůrčího vztahu k práci a k řešení daných úkolů, zajištění kontroly plnění plánů, příkazů a chodu výroby, a to včetně způsobu reakce výroby na tyto podněty, tj. chování výrobního systému. [20]

Řízení obecně má tři úrovně:

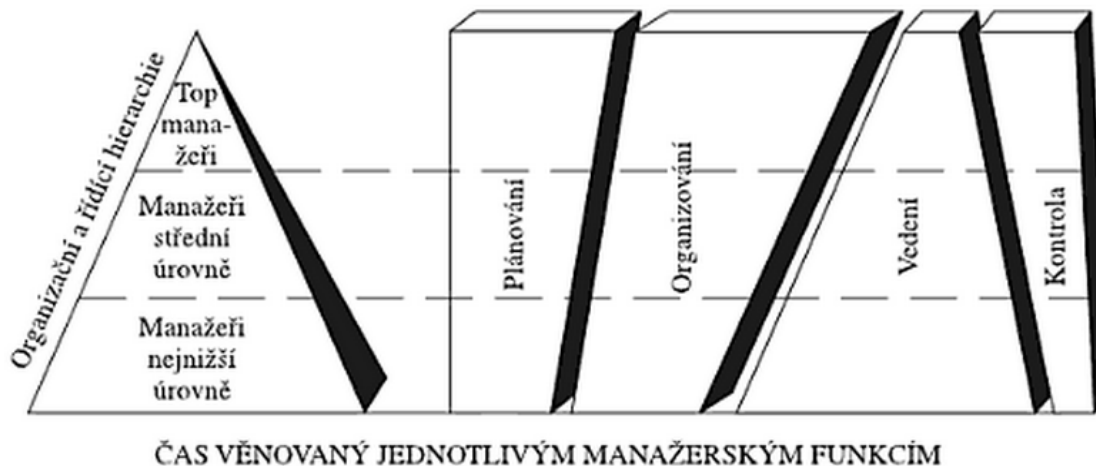
- strategická úroveň – formulace (výrobní) strategie vedením firmy,
- taktická úroveň – střednědobé plánování a koordinace orgánů operativního řízení (útvary s celopodnikovou působností),
- operativní úroveň – speciální útvary a pracovníci určené pro plánování a řízení – každodenní řízení.

Stejně je tomu i u řízení výroby, které má také všechny tyto tři úrovně. Ke každé úrovni jsou přiřazeny základní funkce řízení [14]:

- plánování,
- organizování,

- vedení,
- kontrola.

Názorně tuto strukturu zobrazuje i následující obrázek, který popisuje časovou strukturu jednotlivých funkcí na různých stupních řízení:



Obr. 1-6 Struktura základních manažerských funkcí na různých stupních řízení ([14], s. 30)

Literatura [20] definuje pět nejdůležitějších činností (funkcí řízení výroby), kterými se cílevědomě působí na výrobu:

- plánování,
- ovládání (regulace),
- koordinace,
- kontrola,
- evidence.

Pozn. V dnešní době jsou pro všechny tyto funkce již dostupné počítačové podpory v podobě informačních systémů. I přes jejich stále větší propracovanost se však stále neobejdeme bez aktivní lidské účasti na procesu řízení. Patrné je to především u výrob nižších stupňů – neopakovaná výroba, kde je možno sledovat u všech procesů velkou variabilitu, která se statickými počítačovými výpočty jen těžko zachycuje.

Rozsah teorie pro oblast řízení výroby je velmi velký a vzhledem k rozsahu a cíli této práce jej zde není možno komplexně rozebírat. Cílem této podkapitoly bylo pouze poskytnout obecný přehled a definovat pojem „řízení výroby“.

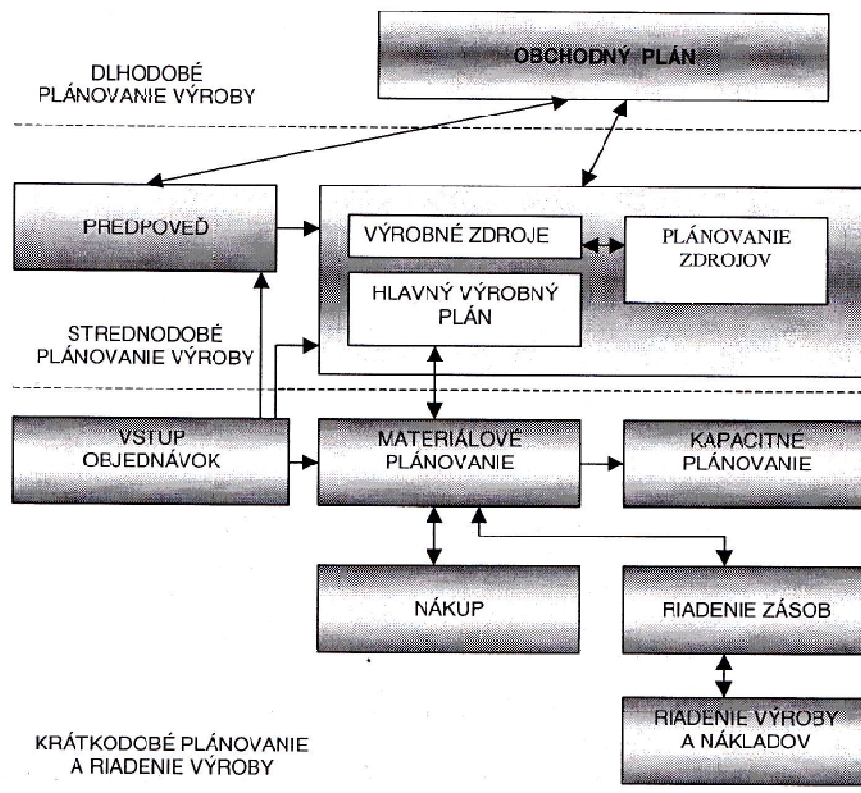
1.3.3 Shrnutí

Cílem kapitoly 1.3 bylo definování toho, co spadá pod pojmy organizace a řízení výroby. Pod organizací výroby si můžeme představit efektivní uspořádání výrobního systému. Cílem je nastavit fungování systému tak, aby byl schopen plnit požadavky zákazníka a zároveň plnil i svoje potřeby (například snižování nákladů, zásob apod.). Neexistuje žádná univerzální ideální organizační struktura. Vždy je nutno přihlížet ke všem vnějším i vnitřním faktorům, které na výrobní systém působí. Obsahem řízení výroby je pak zajistit fungování takto vytvořené organizace.

1.4 Operativní plánování výroby

Operativní plánování výroby je literaturou [26] definováno jako postupné rozpracování výrobních úkolů (zakázek) do dílčích úkolů s určením objemu, místa a lhůt výroby a dále jejich postupné zpřesňování a kontrola. Operativní plánování je na určitém organizačním stupni transformováno ze strategického plánování.

Hierarchický systém plánování uvádí [8]:



Obr. 1-7 Úrovně plánování z hlediska plánovacího horizontu [8]

Tento hierarchický systém bývá napojen na organizační strukturu podniku, potažmo jednotlivé úrovně managementu (strategickou, taktickou a operativní).

Dlouhodobé plánování:

- horizont delší než jeden rok,
- agregované informace,
- definuje hlavní podnikové cíle,
- využívá: strategické plánování, management poptávky, plánování výrobků a trhu, finanční plánování, plánování zdrojů;

Střednědobé plánování:

- horizont 6 – 18 měsíců,
- nižší stupeň agregace informací,
- definuje cíle pro výrobu (střednědobé),
- využívá: agregované plánování, předpovědi poptávky, operativní plánování (angl. Master Production Scheduling), hrubé kapacitní plánování;

krátkodobé plánování:

- horizont dnů až týdnů,
- detailní, neagregované informace,
- využívá: plánování materiálových požadavků (angl. Material Requirement Planning), plánování kapacitních požadavků (angl. Capacity Requirement Planning), plánování finální montáže, dílenské řízení výroby, plánování a řízení nákupu.

Podobně se na plánování z hlediska časového horizontu dívá i prof. Legát:

Plánování	Předmět plánování	Lhůta
Strategické	trhy, sortiment, výrobní program, vyrobit nebo koupit, distribuční kanály	> 3 roky
Dlouhodobé	investice, budovy, kapitál	> 1 – 3 roky
Střednědobé	kapacity, skupiny výrobků, MPS	1 rok
Krátkodobé	operativní plánování, lhůtové plánování, rozvrhování	1 den – 1 rok

Tab. 1-5 Plánovací horizonty ([46], s. 5)

Aby bylo možno lépe pochopit obsah pojmu operativní plánování výroby, uvádí následující kapitola vztah mezi řízením výroby a operativním plánování.

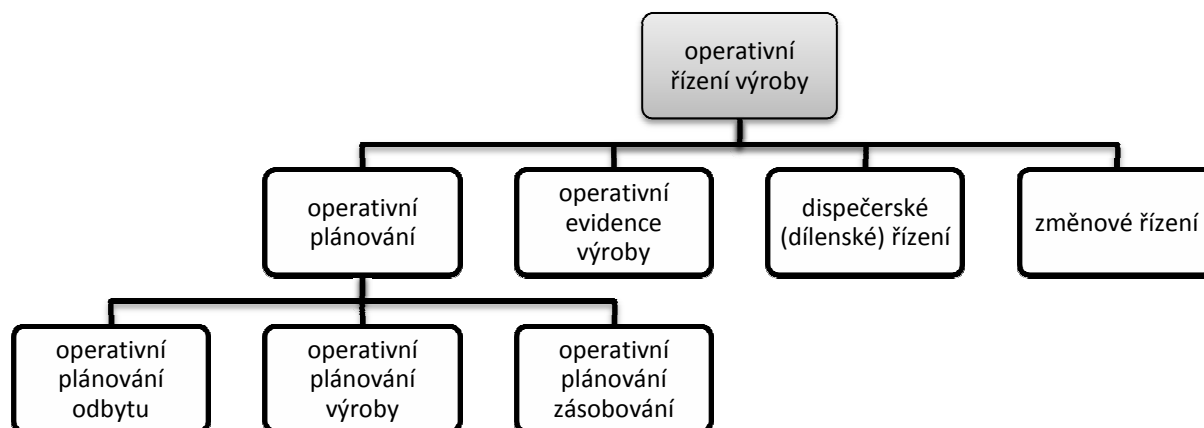
1.4.1 Operativní řízení výrobních procesů

Z některých interpretací v odborné literatuře může někdy čtenář získat mylný pocit, že operativní plánování výroby je nadřazený pojem nad řízením výroby, které využívá pouze pro realizaci naplánovaných činností. Operativní řízení výroby tedy bývá někdy zaměňováno s dispečerským (dílenským) řízením podniku a zásahy do výrobního procesu.

Operativní řízení výroby je však komplexní a široký pojem. Je součástí řízení podniku a představuje souhrn určitých činností, které vytvářejí relativně uzavřený subsystém řízení podniku. Tyto činnosti bezprostředně souvisí s řízením výroby a bilancí spotřeby hlavních činitelů nutných k zajištění chodu výroby. [20]

Pro operativní řízení výroby jsou využívána neagregovaná data, čímž se odlišuje od strategického či taktického řízení. Čerpá data z normativní základny a informační soustavy podniku. Realizuje cíle technickohospodářského plánování a poskytuje informace o vývoji výrobních činitelů a prostředků.

Subsystém operativního řízení výroby v sobě zahrnuje následující činnosti (schéma bylo zpracováno podle [20]):



Obr. 1-8 Prvky subsystému operativního řízení

Uvedme ještě pohled na funkce řízení výroby dle [14]. Zde jsou definovány čtyři základní funkce řízení výroby, mezi které se řadí plánování, organizování, vedení a kontrola. Opět vidíme, že plánování je bráno za součást řízení výroby.

Operativní plánování plní transformační funkci z plánu odváděné výroby na plán zadávané výroby (jednotlivých dílů, podsestav i sestav). Vytvořený plán se v průběhu času neustále zpřesňuje.

Z časového hlediska sem Líbal i Tomek zařazují shodně:

- čtvrtletní operativní plánování
 - odbytu,
 - výroby,
 - zásobování;
- měsíční operativní plánování
 - výroby,
 - zásobování;
- dekadní, směnové apod. operativní plánování
 - výroby.

Operativní evidence výroby poskytuje informace o vlastním průběhu výrobního procesu. V krátkodobém časovém horizontu porovnává plán s realitou. Důležité jsou především informace o počtu vyrobených kusů a spotřebě výrobních činitelů (materiál, normohodiny pracovníků atd.).

Dispečerské řízení využívá jako vstupy operativní plán a operativní evidenci. Tyto informační zdroje neustále porovnává a přijímá opatření k zajištění souladu mezi plánem a skutečností. Stará se o dodržení termínů, kontroluje materiálové zajištění výrobního procesu a reaguje na vzniklé poruchy.

Změnové řízení bývá vynuceno například nesprávně vytvořeným plánem, poruchami nebo technickoorganizačními nedostatky. Tyto odchylky je nutné zohlednit v upřesňovaných krátkodobých plánech. Změny však mohou vzniknout i v normativní základně (spotřeba materiálu, výkonové normy).

Z uvedeného popisu je dobře patrné, jak celý systém operativního řízení funguje. Na základě analýzy poptávky a aktuálních zásob je zjednodušeně řečeno možno vytvořit plán zadávání do výroby. Vytvořený plán je pak realizován výrobním procesem. Protože nežijeme v ideálním

světě, dochází k odchýlkám. Ty je potřeba neustále monitorovat. K tomuto účelu slouží operativní evidence výroby. Zjištěné odchylky se pak snaží odstraňovat dílenské řízení výroby. Na tuto činnost musí být navázáno změnové řízení, které realizuje aktualizaci plánu podle skutečné situace ve výrobě.

Operativní plánování výroby tedy není možno zaměňovat s pojmem operativní řízení výroby. Je však jeho nezbytnou součástí.

Cíle operativního plánování výroby

Dříve než se dostaneme ke konkrétním cílům operativního plánování výroby, uveďme pro úplnost nejprve obecné požadavky na plánování a řízení výroby tak, jak je definuje prof. Legát:

- vysoká neochvějnost termínů,
- vysoké a rovnoměrné využití kapacit,
- krátká průběžná doba,
- nízké stavy zásob,
- nízké zásoby na pracovišti,
- vysoká dodavatelská pohotovost,
- vysoká informační pohotovost,
- vysoká flexibilita,
- nízké opatřovací náklady,
- vysoká pohotovost materiálu,
- zvýšení plánovací jistoty.

Plánování musí být stabilní, konzistentní, kontrolovatelné, průhledné a proveditelné.

V úvodu kapitoly o operativním plánování výroby byla uvedena definice podle [26]. Literatura [20] i [37] popisují jako jeden z hlavních cílů transformaci plánu odváděné výroby na plán zadávané výroby. Ten se pak stává podkladem pro další fáze procesu tvorby operativního plánu výroby. Je nutné pochopit rozdíl mezi těmito dvěma plány, protože plán odbytu představuje zakázky (objednávky) od zákazníků – tedy z vnějšku podniku. Naopak plán zadávané výroby představuje skutečné zakázky, které mají být vpuštěny do výroby. Ty by měly být transformovány ze zákaznických objednávek tak, aby umožnily racionální využití všech podnikových zdrojů.

Tomek uvádí dva hlavní komplexy úkolů, které by mělo operativní plánování výroby řešit:

1. vyjít z rámcového výrobního programu a jednotlivé úkoly zařadit do vlastního plánu výroby s určením jejich detailního průběhu;
2. prosadit úkoly do výroby, podněcovat spolupracovníky k jejich plnění, sledovat průběh a zajišťovat splnění.

Více konkrétně tyto cíle představují:

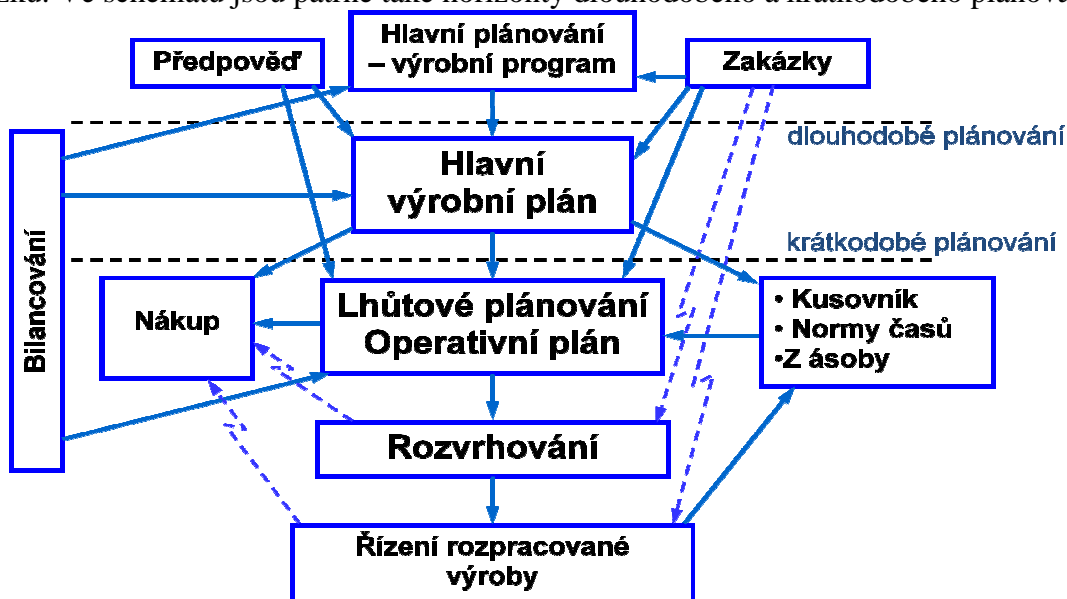
- volbu ekonomicky vhodných zakázek pro výrobu;
- určení kapacit jednotlivých výrobních jednotek potřebných pro realizaci daných zakázek;
- odsouhlasení kapacitní poptávky a nabídky;
- stanovení pořadí provádění operací;
- iniciaci, kontrolu a zajištění průběhu zakázky.

To odpovídá struktuře plánování a řízení výroby uváděné prof. Legátem:

společná datová základna	plánování výroby	plánování výroby
		sestavení hlavního výrobního programu
		lhůtové plánování a kapacitní bilancování
		rozvrhování výroby
řízení výroby		zadání zakázek
		dozor nad průběhem zakázek

Tab. 1-6 Struktura plánování a řízení výroby ([46], s. 8)

Uvedené dílčí cíle operativního plánování jsou v návaznostech zobrazeny na následujícím obrázku. Ve schématu jsou patrné také horizonty dlouhodobého a krátkodobého plánování.



Obr. 1-9 Informační tok plánování ([46], s. 9)

Prof. Líbal považuje za cíl operativního plánování vytvoření lhůtového plánování dílen, pod kterým se skrývá:

1. propočet a použití normativů průběhu výroby (ekonomické dávky, průběžné doby);
2. bilancování potřeby výrobních dávek vyplývající z
 - a. potřeby dohotovující fáze,
 - b. skladové zásoby hotových částí,
 - c. rozpracovanosti ve výrobě,
 - d. normativů průběhu výroby;
3. krátkodobé plány výroby obsahující minimálně lhůtu zadání a odvedení každé dávky stejně jako celku;
4. lhůty pro jednotlivé operace na výrobních dávkách (v nejvyšší fázi operativního plánování výroby).

Vidíme tedy, že na cíle operativního plánování výroby je možno pohlížet jak globálně, kam můžeme zařadit nutnost transformace plánu odváděné výroby na plán zadávané výroby a také následné řízení průchodu zakázek systémem, tak i více konkrétně, což představuje proces sestavení lhůtového plánu.

Faktory působící na operativní plánování

Výsledky operativního plánování se mohou obecně lišit v závislosti na požadavcích managementu. Při tvorbě výrobního plánu tedy musí být zohledněny výrobně-ekonomické cíle. Literatura [37] uvádí následující:

1. minimalizace relevantních nákladů (náklady na přípravu produktivní jednotky, prostoje, skladování, nedodržení termínů),
2. minimalizace průběžných dob,
3. maximalizace využití kapacit,
4. minimalizace odchylek v termínech v předávání ve výrobě a dodržení dodacích lhůt.

Na operativní plánování má kromě výše uvedených cílů definovaných managementem zásadní vliv také typ a charakter výroby, kterou chceme řídit. Literatura [20] uvádí tyto faktory:

- typ výroby (kusová, sériová, hromadná),
- plynulost výroby (přerušovaná nebo plynulá),
- úroveň automatizace,
- opakovaná, nebo vysloveně otevřená výroba.

Protože všechny uvedené faktory působí najednou, lze problematiku operativního plánování rozdělit na následující případy [20], [37]:

- nepřetržité systémy výroby
 - typickými představiteli jsou výrobní linky a kontinuální výroby (hutní, chemická),
 - plánování takové výroby je nepoměrně snazší ve srovnání například s kusovou výrobou – synchronizace,
 - pozornost je soustředěna na časový sled přísunu materiálu, odsunu hotových výrobků, částí a odpadu, stanovení denního objemu výroby;
- přetržité systémy výroby
 - v úvahu se bere určitá opakovanost výroby,
 - řízení výroby podřizujeme rytmu, udržujeme určitý stav jednotlivých typů zásob,
 - typické pro strojírenský, elektrotechnický, ale také spotřební a potravinářský průmysl;
- jednorázové projekty [20] / zakázková a kusová výroba [37]
 - nepředpokládá se opakovanost výroby ani opakované využití standardní podkladů,
 - překrývání koncepčních a operativních plánů,
 - využití metod síťové analýzy,
 - určení pořadí a synchronizace provádění jednotlivých činností, následně pak kontrola plnění plánu a korekce;

Podle typu výroby, organizace výrobního procesu a způsobu předávání jednotlivých dávek je pak možno použít pro plánování některou z tzv. typových (standardních) soustav operativního plánování (viz literatura [37]). K výběru vhodné soustavy nelze přistupovat dogmaticky, ale vzhledem ke specifickým podmínkám je možno metody kombinovat.

1.4.2 Obecný model operativního plánování výroby

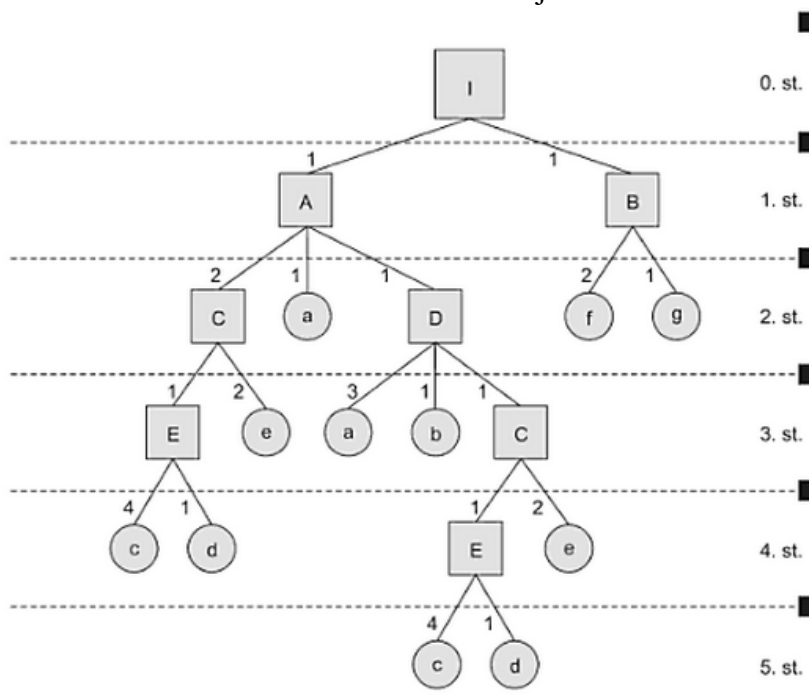
Tato kapitola se věnuje obecnému modelu operativního plánování výroby tak, jak ho uvádí [37]. Model se skládá z následujících kroků:

- výpočet spotřeby částí na výrobek,
- stanovení ekonomických výrobních dávek (výrobních zakázek),
- bilancování potřeby výrobních dávek,
- stanovení termínů odvádění a zadávání,
- bilance kapacit pracovníků, strojů a zařízení,
- výpočet potřeby nástrojů, nářadí a přípravků,
- lhůtový plán dílny.

V jednotlivých krocích opět můžeme vidět již dříve zmiňované prvky operativního plánování – zjištění, co má být vyráběno (včetně počtů) a propočet ekonomických výrobních dávek. Na základě těchto dat pak můžeme určit potřebné kapacity a zdroje. Na závěr je rozpracováno časové hledisko výroby, tedy kdy, co a kde vyrábět. Výsledkem je pak sestavení lhůtového plánu.

V prvním kroku je potřeba provést transformaci ze zákaznických požadavků na plán zadávané výroby. Vydeme ze spotřeby finálních produktů. Musíme znát jejich strukturu a rozpadnout ji do jednotlivých částí – podsestav a dílců. K tomuto účelu je nutné znát kusovník.

Kusovník definuje [16] jako vyjádření struktury výrobku. Z datového hlediska se jedná o acyklickou orientovanou síťovou strukturu. Uzly tvoří nakupované díly a materiál, vyráběné díly, podsestavy a sestavy výrobku. Mezi uzly existují propojení pomocí hran, které vyjadřují vazby mezi vyšší a nižší položkou s uvedením množství nižší položky. Uzly nakupovaných dílů poznáme tak, že z nich nevychází směrem dolů žádná hrana. Hrany v daném uzlu shora pouze končí. Naopak v uzlech finálních výrobků žádná hrana nekončí, hrany z něj pouze vycházejí směrem dolů. Příklad kusovníku uvádí následující obrázek:



Obr. 1-10 Strukturální kusovník podle výrobních stupňů [36]

Každá položka kusovníku by měla být dostatečně podrobně popsána (číslo položky, název, výkres, hmotnost, cena apod.). Kusovníky totiž slouží nejen jako dokument technické přípravy výroby, ale jsou rovněž využívány ve výrobě, nákupu, marketingu, účetnictví nebo controllingu. Pro úplnost ještě uvedme, že se v praxi můžeme setkat se dvěma základními druhy kusovníků:

- nestrukturovaným – pouhý přehled materiálů, dílů, podsestav a sestav s uvedením spotřebovávaného množství, bez vyjádření vnitřních vazeb;
- strukturovaným – uvádí i vnitřní vazby, tzn. co vzniká z čeho.

Při rozpadu potřeby finálních výrobků na jednotlivé díly a podsestavy dojdeme k tomu, že některé dílce potřebujeme do více sestav nebo v různých fázích výroby. Požadavky na tyto stejné díly a podsestavy sčítáme, abychom získali jejich celkovou potřebu. K tomu se mohou ještě připočítávat požadavky zákazníků přímo na jednotlivé části, ne přímo finální výrobky – případ náhradních dílů. Popsanému postupu propočtu se říká rozpouštění výrobků do částí dle kusovníku.

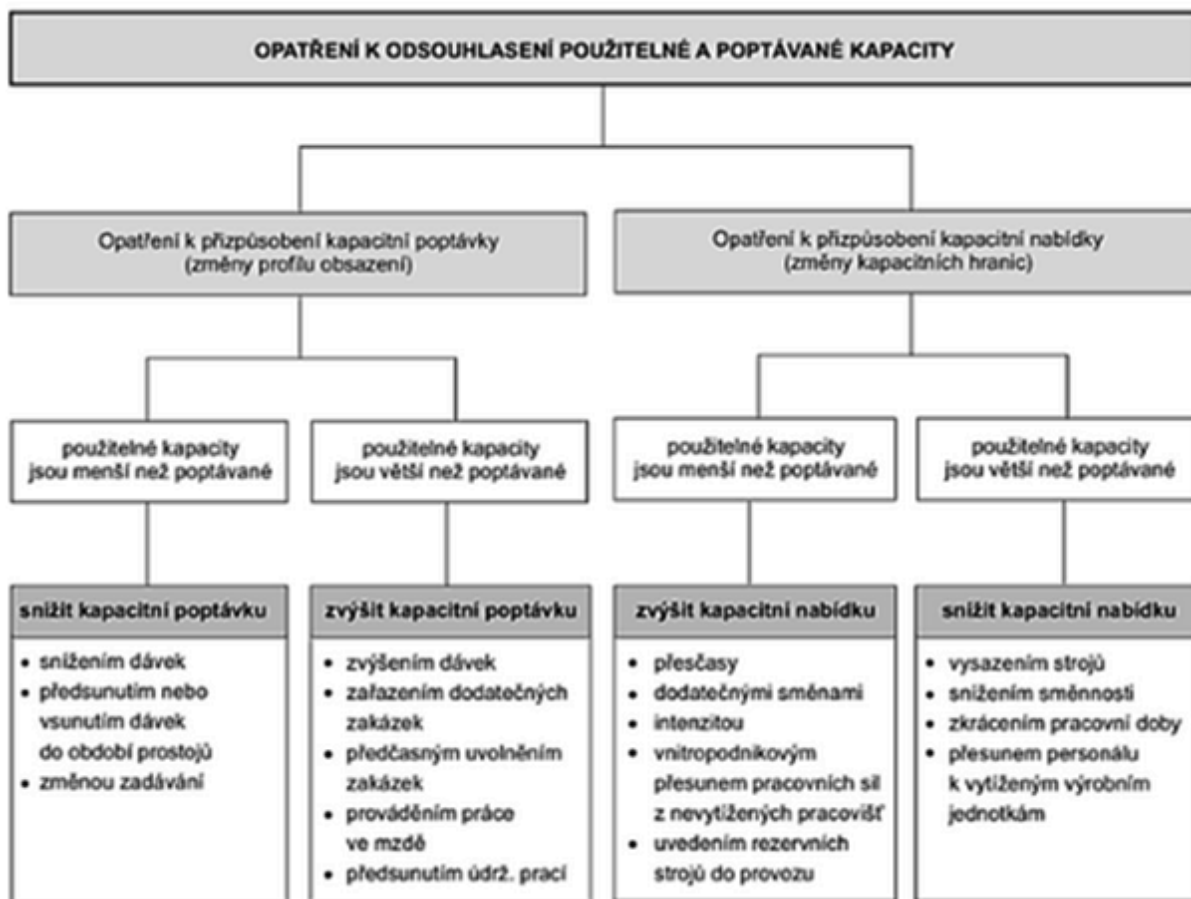
Druhým krokem modelu je výpočet ekonomických výrobních dávek. Je nutné zdůraznit, že tato fáze odpadá v případě vyložené kusové výroby či výroby na zakázku, kde se nebude vyrábět větší než zákazníkem požadované množství.

Výrobní dávky jsou reprezentovány výrobními zakázkami, které budeme následně vpouštět do výrobního systému. Berou se v úvahu nejen požadavky zákazníka a skladové zásoby, ale také potřeby vytváření zásob v meziskladech, pojistné zásoby a normativy časového průběhu výroby. Tím získáme bilanci potřeby výrobních dávek.

Při plánování dávek se můžeme rozhodovat mezi vytvořením menšího počtu objemově velkých dávek nebo naopak vytvoření velkého počtu objemově malých dávek. První varianta umožňuje redukovat časy potřebné na přešeřzení pracoviště a tak zvýšit využitelnost výrobního zařízení. Bohužel to však způsobuje navyšování zásob a všechny problémy s tím spojené. V současnosti je trendem zmenšování velikostí dávek, a tím i dosahování pružnější výroby – koncept výroby JIT.

Následně pokračujeme stanovením termínů. U jednotlivých dávek se vychází ze zadaného termínu odvádění a pomocí odečtu předstihu nebo průběžné doby výroby se dopočítá termín zadávání.

Porovnáním časových potřeb z plánu zadávání a velikosti výrobních dávek s využitelným časovým fondem strojů a pracovníků získáme tzv. zatěžovací plán. Stavíme tedy proti sobě plánované potřeby zdrojů a dostupné kapacity. Případný nesoulad je možno řešit například přesuny pracovníků, úpravami směnných modelů, přesčasy atd. (Obr. 1-11). Z plánu zadávané výroby rovněž zjišťujeme potřeby náradí, přípravků a nástrojů.



Obr. 1-11 Možnosti řešení nesouladu požadovaných a dostupných kapacit [37]

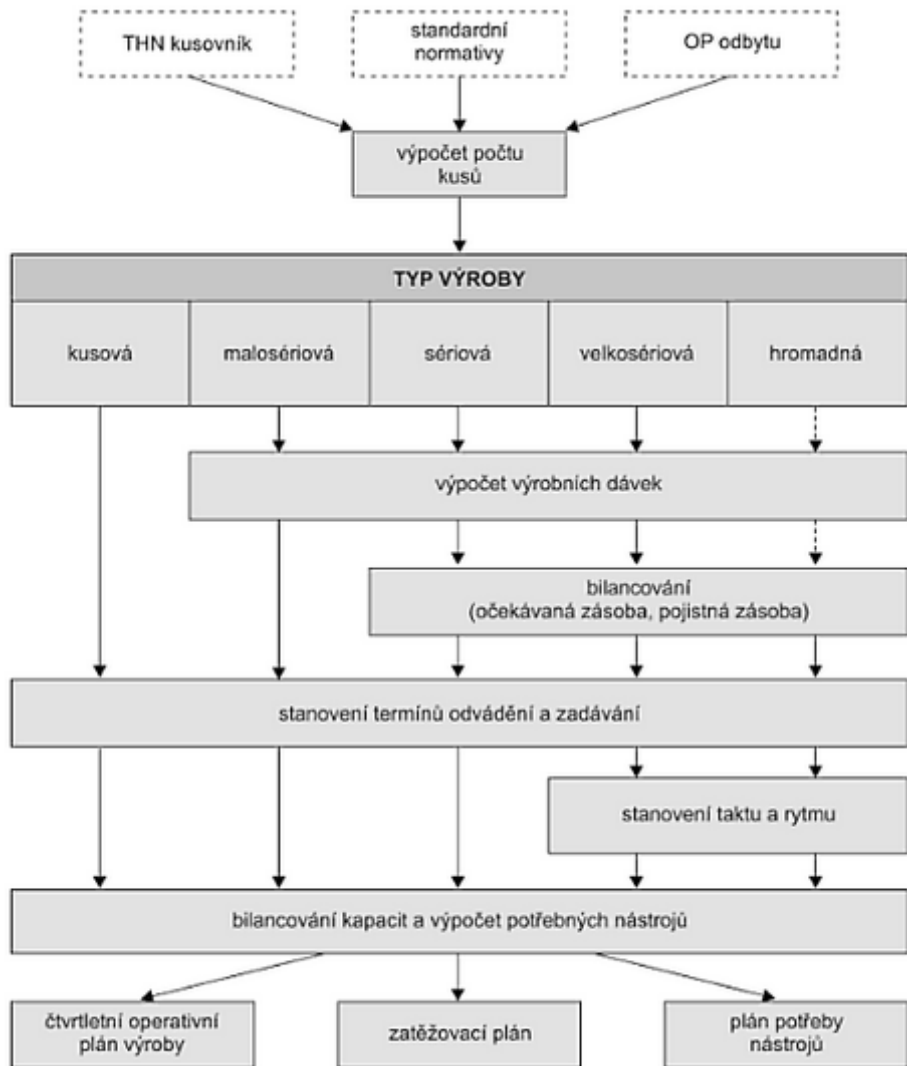
Posledním krokem je sestavení lhůtového plánu, který předepisuje lhůty zadávání a odvádění pro dílnu. Ve vysoce opakované výrobě pak může obsahovat i předpis provedení jednotlivých operací na výrobní dávce.

Fungování obecného modelu operativního plánování výroby je možno znázornit pomocí níže uvedeného schématu - Obr. 1-13. Tomek k tomu uvádí, že podstatou operativního plánu výroby je plánování množství a plánování termínů. Následně je potřeba řešit průběh výrobního procesu:

- termínování průběhu – zadání a odvedení při respektování minimálních průběžných dob (dělení a překrývání operací);
- termínování kapacit – řešení rozporu mezi požadovanými a dostupnými kapacitami;
- určení pořadí zakázek – priority, vliv nasazení prioritního pravidla a optimalizační kritéria ukazuje následující obrázek.

OPTIMALIZAČNÍ CÍLE	PRAVIDLO PRIORITY			
	nejkratší operační čas	zbývající čas práce	dynamické hodnotové pravidlo	čas skluzu
Maximální využití kapacity	velmi dobrá	dobrá	mírná	dobrá
Minimální průběžná doba	velmi dobrá	dobrá	mírná	mírná
Minimální náklady na skladování v meziskladu	dobrá	mírná	velmi dobrá	mírná
Minimální odchylky od termínů	špatná	mírná	mírná	velmi dobrá

Obr. 1-12 Vliv prioritních pravidel na optimalizační cíle [37]



Obr. 1-13 Model čtvrtletního operativního plánu výroby [36]

1.4.3 Shrnutí

Cílem kapitoly o operativním plánování výroby bylo získání základního přehledu o dané oblasti. Rozsah zkoumané problematiky je velký. Operativní plánování má zásadní vliv na fungování celého podniku. Nedotýká se jen výroby, ale rovněž například nákupu a odbytu. Úroveň dlouhodobého plánování rozhoduje o budoucnosti firmy a představuje zásadní potenciál pro její udržení se na trhu. Krátkodobé plánování pak ovlivňuje především provozní ukazatele podniku. Má vliv na plnění termínů, s čímž má jistě souvislost spokojenost zákazníka, racionální využívání kapacit, hospodaření se zdroji, úroveň zásob a mnoho dalších faktorů ovlivňujících nákladovou stránku fungování podniku.

Způsob operativního plánování je silně závislý na typu řízené výroby – hromadná, sériová nebo kusová. Především u posledně zmiňované jsou kladeny velké nároky na správné plánování. V teorii je možno najít velké množství různých poznatků, metod a přístupů, které se snaží najít nejlepší způsob vykonávání funkce operativního plánování. Zatímco ve vysoce opakované výrobě jsou tyto teoretické poznatky již běžně aplikovány do praxe, v kusové výrobě, především v menších podnicích, je však úroveň jak samotného plánování, tak i znalostí na nízké úrovni.

Z tohoto důvodu se tato práce zaměřuje právě na oblast kusové zakázkové výroby v prostředí malých a středních podniků. Snaží se najít vhodný způsob operativního řízení a plánování výroby, který by bylo možno poměrně jednoduše aplikovat do praxe s respektováním všech specifíků daného typu výroby. Systém musí být flexibilní, nepřítli složitý a musí poskytovat správná data. Informace jsou důležité nejen pro vedení firmy, ale především pro dispečery výroby případně samotné operátory, kteří se musí každodenně rozhodovat, jak toky ve výrobě správně řídit.

1.5 Vybrané problémy z oblasti řízení výroby

Pro potřeby této práce je nutné si vyjasnit některé specifické problémy, kterými jsou:

- průběžná doba výrobku a výroby,
- rozvrhování výrobních operací, sekvenční problém, řízení priorit,
- teorie front, někdy též označovaná jako teorie hromadné obsluhy.

1.5.1 Průběžná doba výroby

Průběžná doba výrobku (potažmo i výroby) je, jak uvádí [12], základním výkonovým ukazatelem podniku.

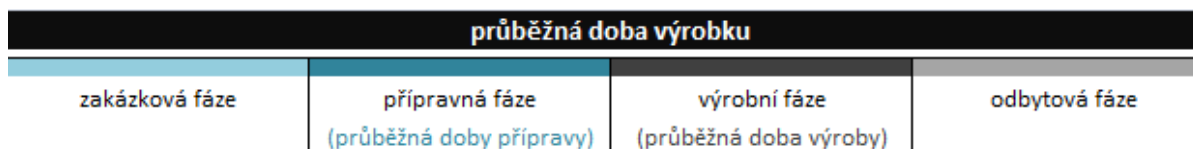
Hned v úvodu je nutno zmínit, že existuje více druhů průběžných dob (v angličtině se pro tento pojem používá označení „lead time“), které bývají zaměňovány. Udělejme si proto nejprve základní přehled:

- *průběžná doba výrobku* – časový interval, který začíná okamžikem, ve kterém zákazník uplatní svůj požadavek na výrobek, až po dodání výrobku zákazníkovi, podrobněji je možno ji rozdělit na čtyři fáze:
 - zakázkovou,
 - přípravnou,
 - výrobní,
 - expediční (odbytová);

- *průběžná doba přípravy výroby výrobku* – souhrn činností předcházející vlastnímu procesu tvorby nových materiálních užitečných hodnot, charakteristická je pro ni náročnější duševní práce konaná THP pracovníky (často s požadavky na kreativitu), řadíme sem vývoj produktů, konstrukční a technologickou přípravu výroby, zajištění materiálů a přípravků atd.;
- *průběžná doba výroby* – souhrn činností uskutečňujících proces tvorby nových materiálních hodnot, zásadní vliv má kusovník výrobku a také způsob předávání rozpracované výroby mezi pracovišti (postupný, souběžný, kombinovaný), zjednodušeně řečeno je to časový úsek od zahájení do ukončení výroby určitého výrobku.

Jako zdroj definic byly použity literatury [20], [37] a [49].

Z definic jednotlivých druhů průběžných dob je vidět, že zastřešujícím pojmem je průběžná doba výroby výrobku, která v sobě zahrnuje jak průběžnou dobu přípravy, tak i průběžnou dobu výroby, viz následující obrázek.



Obr. 1-14 Vztah jednotlivých druhů průběžných dob (upraveno podle [37])

Vzhledem k zaměření této práce je pro nás důležitá především průběžná doba výroby, která je představována časovým úsekem od provedení první operace až do odvedení hotového výrobku na sklad. [37] Průběžná doba výroby (doba trvání výrobního procesu) je součtem technologických i netechnologických časů a přerušení. Jejich poměr je dán typem a úrovní řízení výrobního systému a nastavením jeho parametrů. Zatímco v nepřerušované výrobě budou více rozhodující technologické časy, ve výrobě přerušované (především málo opakované) to budou spíše ty netechnologické a různá přerušení.

Mezi *technologické časy* (časy kusové) řadíme:

- ruční operace,
- strojní operace,
- strojně ruční operace,
- automatické operace,
- přírodní operace (chemické a biologické procesy);

Mezi *netechnologické časy* (časy přípravné a časy zakončení) zahrnujeme:

- přípravu pracoviště,
- seřízení stroje,
- přepravní operace,
- technologickou manipulaci,
- nakládání a skladování,
- kontrolu jakosti;

Za časy přesušení jsou považovány:

- přerušení vyvolaná organizací práce – režim dne, dávky materiálu, synchronizace, režim obsluhy, kompletace,
- přerušení vyvolaná stavem technického zařízení – technologická synchronizace, poruchy, údržba,
- přerušení vyvolaná technicko-organizačními nedostatky – problémy s manipulací, energií, materiálem,
- přerušení vyvolaná subjektivními příčinami ze strany dělníka – osobní ztráty, vícepráce z důvodu nedostatečné přípravy atd.

Jednoduchý přehled o komponentách, ze kterých se průběžná doba čekání skládá, poskytuje následující schéma.

přesun materiálu na pracoviště	čekání ve frontě	nastavování	technologické operace	čekání na přepravu na další pracoviště
--------------------------------	------------------	-------------	-----------------------	--

Obr. 1-15 Skladba průběžné doby výroby (upraveno podle [5])

Vzájemný poměr dob trvání jednotlivých složek se samozřejmě mění v závislosti na typu výroby, organizační úrovni, použitých technologiích atd.

Ačkoli se výpočet průběžné doby výroby může zdát jednoduchý, daný prostým součtem časů jednotlivých složek, a odolný vůči chybám, není teoretický výpočet vždy shodný s realitou. V praxi se totiž setkáme s mnoha odchylkami. Doba trvání technologických časů může být zásadně ovlivněna například paralelním opracováním součástí na více strojích. Hlavní obtíže může činit také určení časů čekání. Zde je nutno nasadit matematický aparát nebo nejlépe počítačovou simulaci, která je schopna poskytnout dynamický pohled na chování výrobního systému. Důležitost určení dob čekání plyne z jejich objemu. Literatura [5] uvádí, že mohou tvořit i více než 80% průběžné doby výroby.

Pokud tedy chceme redukovat průběžnou dobu výroby, je dobré se soustředit právě na čekání ve frontách. Tvorba front před pracovišti však nemá pouze negativní důsledky. Fronty umožňují vyhlazovat fluktuace v objemu výroby přicházející na pracoviště. Ochraňují pracoviště před situací, kdy by nemělo co zpracovávat. To je důležité především v situaci, kdy se jedná o úzké místo procesu často s vysokou hodinovou sazbou, u nějž potřebujeme využít plně jeho kapacitu. Zároveň je zásoba pracovních úkolů před pracovištěm příležitostí k vhodnému slučování technologicky podobných zakázek. Tím je možno redukovat časy nutné pro změnu seřízení pracoviště na novou zakázku. Při úvahách o délce front a tím o velikosti zásob rozpracované výroby je potřeba proti sobě vždy stavět uvedené výhody proti negativním aspektům plynoucím z váznoucího toku. Průběžná doba výroby ve vztahu k frontám bude rovněž ovlivněna výběrem zakázek podle priorit, které by se měly pružně měnit v závislosti na aktuální situaci. [5]

Autoři Tomek a Líbal pak rozebírají výpočty průběžné doby výroby pro tyto případy:

1. výroba jedné součásti jednoho druhu,
2. výroba několika součástí (dávky) jednoho druhu,
3. výroba jednoho výrobku určitého druhu,
4. výroba výrobků (dávky, série) určitého druhu.

Pro první případ je výsledná hodnota dána součtem výrobních cyklů ve všech provozech, meziprovozních přestávkách, doby čekání na kompletaci a samotné doby montáže:

$$T_c = \sum_1^p T_o + \sum_1^p T_p + \sum_1^p T_{pm} + \sum_1^p T_m \quad (2)$$

T_o	...	doba opracování součásti určitého druhu v daném provozu
T_p	...	doba trvání meziprovozních přestávek při předávání
T_{pm}	...	doba čekání součásti na kompletaci před montáží
T_m	...	doba trvání montáže
p	...	počet provozů

Jestliže vyrábíme více součástí od jednoho druhu výrobku, může se situace zkomplikovat, pokud jsou mezi pracovišti předávány až kompletně zpracované dávky. Z tohoto důvodu vznikají čekání jednotlivých výrobků na opracování celé dávky. Délka výrobního cyklu jednoho určitého výrobku se určí podle součásti s nejdelším cyklem. Průběžná doba bude tedy záviset na průběhu dávky provozem. Ten může být:

- postupný
- souběžný
- smíšený

Při postupném způsobu se mezi jednotlivými operacemi předávají pouze celé dávky:

$$T_{c-post} = \sum_{i=1}^m t_{dki} + d_v \sum_{i=1}^m t_{ki} + \sum_{i=1}^m t_{pzi} \quad (3)$$

m	...	počet operací $i=1,2, \dots, m$
d_v	...	počet kusů ve výrobní dávce
t_{dki}	...	čas dopravy a kontroly
t_{ki}	...	kusový čas na i -té operaci
t_{pzi}	...	čas přípravy a zakončení i -té operace

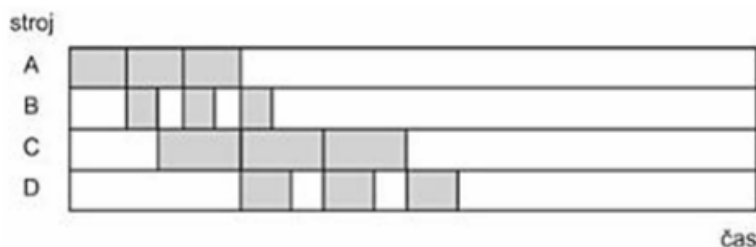


Obr. 1-16 Postupný způsob předávání dávek [37]

Při souběžném způsobu jednotlivá součást nečeká na opracování celé dávky, ale je plynule zpracována na dalším pracovišti (další operace začíná ihned po ukončení předchozí operace na prvním kusu dávky). To je vhodné při stejných časech opracování na všech operacích – výrobní linky. Tento způsob může přinést ve srovnání s předchozím způsobem výrazné zkrácení průběžné doby.

$$T_{c-soub} = t_{pzi} + \sum_{i=1}^m t_{dki} + \sum_{i=1}^m t_{ki} + (d_v - 1) \times t_{kmax} \quad (4)$$

t_{kmax}	...	čas kusový nejdelší operace
------------	-----	-----------------------------



Obr. 1-17 Souběžný způsob předávání dávek [37]

Kombinací postupného a souběžného způsobu vzniká tzv. smíšený způsob předávání dávek. Ten řeší problém nesynchronizované výroby. Využívá kombinaci obou způsobů zadávání tak, aby se minimalizovaly ztrátové časy.

$$T_{c-smiš} = t_{pz_1} + \sum_{i=1}^m t_{dki} + \sum_{i=1}^m t_{ki} + (d_v - 1) \times \sum (t_{k_{dl}} - t_{k_{kr}}) + (d_v - 1) \times t_{k_{posl}} \quad (5)$$

- $t_{k_{dl}}$... kusový čas delší operace (následuje-li kratší)
- $t_{k_{kr}}$... kusový čas kratší operace (následuje-li delší)
- $t_{k_{posl}}$... kusový čas poslední operace



Obr. 1-18 Smíšený způsob předávání dávek [37]

Řešíme-li výpočet průběžné doby celého složitého výrobku a ne pouze jedné jeho součásti, problém se dosti zesložitíuje. K jeho řešení je možno využít tzv. graficko-propočtový způsob. Při něm je potřeba zobrazit montážní vazby jednotlivých podsestav a zároveň propočítat průběžné doby jednotlivých součástí. Největší vliv na výslednou průběžnou dobu výroby celého výrobku bude mít nejsložitější sestava.

Z výkladu je vidět, že průběžná doba závisí na plynulosti a návaznosti zpracování v jednotlivých krocích procesu. Aby byla zaručena nerušenost a rytmičnost práce, je potřeba zajistit, že dodávající pracoviště začne se zpracováním o určitou dobu dříve, než bude výsledek požadován odebírajícím pracovištěm. Tomuto času se říká *výrobní předstih*. Jeho výpočet má praktický smysl spíše v opakované synchronizované výrobě.

1.5.2 Rozvrhování výrobních operací, sekvenční problém, řízení dle priorit

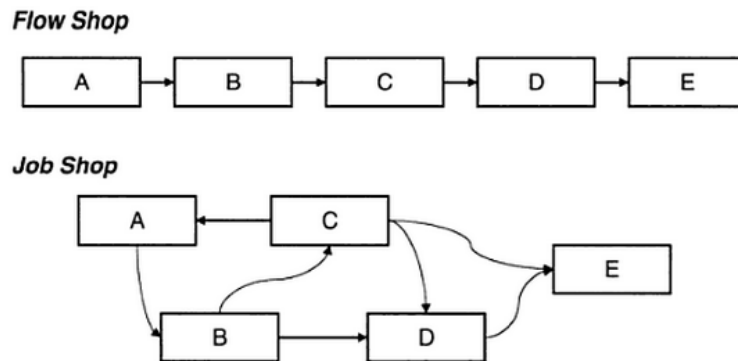
Náročnost rozvrhování výrobních operací je určená typem výroby. V zásadě se využívají dva základní principy organizace výroby:

- dílenská organizace výroby (job-shop, order control),
- proudová organizace výroby (flow-shop, flow control).

Předmětem řízení prvního typu organizace výroby je každá jednotlivá zakázka. Uspořádání pracovišť je technologické. Zpracování zakázek nemá jednotný tok – mění se počet operací, typy požadovaných operací, jejich pořadí atd. Dílenská organizace výroby je typická především pro kusovou výrobu.

Při proudové organizaci výroby se předpokládá, že všechny výrobní zakázky mají stejnou sekvenci opracování. Pozornost se tedy nesoustředí detailně na každou jednotlivou zakázku. Tomu je přizpůsobeno i uspořádání pracovišť – předmětné. Tento způsob organizace výroby je typický pro vysoce opakovanou výrobu.

Srovnání materiálového toku v obou zmiňovaných typech organizace uvádí následující obrázek.



Obr. 1-19 Dílenská (job shop) a proudová (flow shop) organizace výroby ([25], s. 20)

Složitost rozvrhování narůstá směrem od hromadné výroby k nejsložitějšímu typu, kterým je výroba kusová.

Při job-shop rozvrhování je vynakládáno velké úsilí na definování optimálního pořadí zpracování zakázek na jednotlivých pracovištích – tzv. sekvenční problém. Pro hodnocení optimálního pořadí mohou být použita tato kritéria [20]:

- minimalizace výrobních cyklů opracování součástí
- minimalizace celkového nebo maximálního zpoždění proti stanoveným termínům
- minimalizace ztrát spojených s nesplněním termínu
- minimalizace prostojů strojů
- minimalizace doby čekání součástí na montáž
- minimalizace nákladů spojených s rozpracovanou výrobou atd.

Celkový počet možností sestavení rozvrhu (pořadí) je velmi velký. Předpokládáme-li n výrobků, které je potřeba rozplánovat na m strojů (každý výrobek má jen jednu operaci na jednom stroji), bude počet možných kombinací:

$$(n!)^m$$

To v praxi může znamenat při uvažování pěti pracovišť a pěti výrobků 24 883 200 000 možných kombinací. Na řešení popsaného problému byly vyvinuty speciální metody (viz následující tabulka vybraných metod). Bohužel však žádná z nich není zcela obecná a efektivní.

Metoda	Základní charakteristika
Johnsonova metoda	<ul style="list-style-type: none"> - nejčastěji uváděná - řeší problém stanovení pořadí pro libovolný počet dávek avšak pouze dvě - pracoviště - dává optimální řešení - na přední místa pořadí jsou řazeny součásti s krátkými výrobními časy na prvním pracovišti, naopak na poslední místa se řadí výrobky s krátkými časy na druhém pracovišti - pořadí opracování na pracovištích musí být pro všechny výrobky stejné
Sokolycynova metody	<ul style="list-style-type: none"> - vychází z Johnsonovy metody - řeší problém libovolného počtu dávek, ale také libovolného počtu pracovišť - pro řazení se využívá zmenšující se rozdíl ve výrobních časech mezi poslední a první operací
Metoda Ackerse a Friendmana	<ul style="list-style-type: none"> - řeší problém libovolného počtu strojů, ale pouze dvou dávek - nenumerické řešení, využití symbolické logiky
Grafická metoda	<ul style="list-style-type: none"> - řeší problém libovolného počtu strojů, ale pouze dvou dávek - jednodušší než předchozí metoda
Metoda Monte Carlo	<ul style="list-style-type: none"> - řešení matematických úloh modelováním náhodných veličin - je nutný matematicko-pravděpodobnostní popis - nutné provedení velkého množství náhodných experimentů – náročné - výsledek se pouze přibližuje optimu
Metoda párování	<ul style="list-style-type: none"> - principem je seskupování výrobků do dvojic a jejich vzájemné porovnávání, takto porovnané dvojice se pak porovnávají navzájem a postupně se vytváří jejich pořadí - malá pracnost výpočtu - nepřesné výsledky
Metoda výběru	<ul style="list-style-type: none"> - nejprve se zařadí zakázka (případně dvojice zakázek) s nejméně výhodným výrobním cyklem, v dalších krocích se postupně přiřazují další zakázky z výrobního souboru - pracnější než metoda párování - přesnější a spolehlivější výsledky
Metoda vyměňování	<ul style="list-style-type: none"> - vychází se z libovolného pořadí daného souboru, v němž se postupně vyměňuje pořadí sousedních výrobků (dokud dostáváme stále výhodnější řešení dle stanoveného kritéria) - velká pracnost
Metoda sdružování	<ul style="list-style-type: none"> - postupné stanovování pořadí na stále větších souborech - myšlenka: pokud dokážeme určit optimální pořadí na menších souborech, je možné dosti pravděpodobně dosáhnout i optimálního pořadí ve větších souborech - velká pracnost - přesné výsledky

Tab. 1-7 Přehled metod pro řešení sekvenčního problému (zpracováno na základě [20])

Přesto i v případě, kdy se nám podaří po často velkém úsilí sestavit více či méně optimální pořadí opracování, nemusíme dostat při reálném průběhu takto plynulý průběh, kdy by se před pracovišti netvořily žádné fronty. Důvodem jsou často nevyhnutelné odchylky skutečnosti od plánu. Dilworth ([5]) uvádí následující faktory, které mohou způsobit vznik odchylek v neopakované výrobě:

- jedná se o jedinečnou výrobu, která často nemá vzor v minulosti – výrobní časy jsou spíše odhadovány, nemohly být v minulosti ověřeny;
- odchylky od normovaných časů v důsledku rozdílné zručnosti a přístupu k práci jednotlivých pracovníků;
- pořadí některých operací může být vzájemně měněno;
- mění se podmínky – dodatečné přijetí nových objednávek, zrušení nebo úprava stávajících;
- mění se počet „dostupných“ pracovníků – nemocnost, výpovědi, ...;
- problémy se vstupním materiálem – pozdní dodávka, špatná kvalita;
- poruchy strojů;
- mění se váhy optimalizačních kritérií.

Proto se musíme často přímo na dílně rozhodovat, kterou dávku z fronty čekající práce před pracovištěm uvolníme jako další. Je tedy potřeba přiřadit čekajícím zakázkám aktuální priority. Jako kritéria hodnocení mohou být použity například tyto [5], [8]:

- | | |
|---|---|
| ▪ Schopnosti pracovníka versus náročnost zakázky | ▪ FIFO – respektování nejdelšího času čekání ve frontě |
| ▪ Odhadovaný výrobní čas (vzestupné nebo sestupné seřazení) | ▪ SOT, SPT (<i>Shortest Operation Time, Shortest Processing Time</i>) – upřednostnění operace s nejkratším výrobním časem |
| ▪ OPN DD (<i>Earliest Due Date</i>) - nejbližší termín dokončení | ▪ DD (<i>Due Date</i>) – upřednostnění plánované operace |
| ▪ Čas do plánovaného konce operace | ▪ CR (<i>Critical Ratio</i>) – rozdíl mezi termínem dokončení a aktuálním časem dělený zbývajícím pracností, prioritu má minimální CR |
| ▪ STR (<i>Slack Time Remaining</i>) - zbývajícím časem do plánovaného termínu dokončení – výrobní čas zbývajících operací | ▪ STR/OP – upřednostnění výrobní zakázky s minimální hodnotou poměru mezi zbývajícím časem do plánovaného termínu dokončení s odečtením výrobního času zbývajících operací a počtem zbývajících operací |
| ▪ Počet zbývajících operací na výrobku | ▪ LIFO – obslužení zakázky čekající nejkratší dobu |
| ▪ Minimalizace nákladů na přeseřízení strojů | ▪ RO – (<i>Random Order</i>) – náhodný výběr |
| ▪ Cena finálního výrobku, pro který je díl vyráběn | ▪ QR – (<i>Queue Ratio</i>) – STR zbývajícím v rozvrhu dělený plánovaným časem čekání ve frontě |

Heuristickým plánováním, rozvrhováním zakázek na stroje a určováním pořadí zpracování zakázek čekajících ve frontě dle různých algoritmů se zabývá například literatura [29], [32].

Běžně se v této oblasti setkáme s pojmy heuristické rozvrhování (Heuristic Scheduling), dílenská organizace výroby (Job Shop), proudová organizace výroby (Flow Shop), problém

rozvrhování pro jeden stroj (One-Machine Problems), problém rozvrhování pro více paralelních strojů (Multi-Machine Problems).

1.5.3 Teorie front

Pro zpracování kapitoly byla použita literatura [13], [20], [34], [35], [42].

V předchozím výkladu se mnohokrát zmiňovala tvorba front čekajících výrobků před pracovištěm. Analýzou front a jejich řešením / optimalizací se zabývá tzv. teorie front, někdy též teorie hromadné obsluhy. Při řešení sekvenčního problému jsme uvažovali, že kapacity jsou pevně dány a je potřeba řídit příchody zakázek a pořadí jejich obsluhy. Teorie front naopak řeší stanovení optimální kapacity. Modely hromadné obsluhy jsou stochastické, to znamená, že pracují s náhodným charakterem procesů a využívají teorie pravděpodobnosti. Své využití nachází teorie front v mnoha oblastech, například při řešení dopravních problémů, obsluhy zákazníků v obchodech, výrobních linek apod.

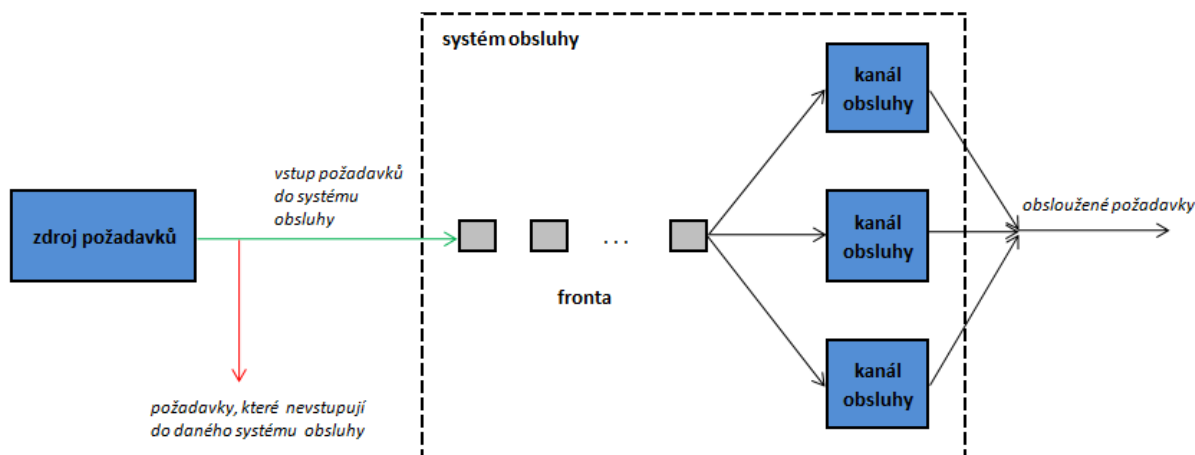
Literatura [35] definuje teorii front jako souhrn matematických metod používaných k modelování a optimalizaci procesů, ve kterých se vyskytují proudy objektů procházejících určitými zařízeními, od nichž vyžadují obsluhu.

K tvorbě front dochází v případě, kdy je kapacita obsluhujícího zařízení zpracovávajícího proud vstupních požadavků (zakázek, zákazníků) menší, než je intenzita požadavků. To znamená, že kapacita pracoviště je menší, než jsou požadavky. Pokud je tento stav trvalý, rostla by fronta nade všechny meze a stav by byl bez zvětšení kapacit neudržitelný. V praxi se však setkáváme se situací, kdy se fronty vytvářejí, ačkoli celkové požadavky na kapacitu jsou menší než dostupná kapacita. Důvodem je nerovnoměrnost příchodu požadavků v čase.

Obecné schéma modelu hromadné obsluhy uvádí Obr. 1-20. Na vstupu do systému je zdroj jednotek, které mají být obslouženy jedním nebo více kanály obsluhy. V okamžiku, kdy budou všechny kanály obsazeny se začne vytvářet fronta (může být jedna společná pro všechny kanály, nebo zvláštní fronta před každým kanálem). Příchod jednotek do systému může být v pravidelných nebo nepravidelných intervalech, podle toho pak rozlišujeme vstupní proudy determinované, náhodné a smíšené. Zároveň mohou požadavky vstupovat jednotlivě, ale také po skupinách. Rovněž doba obsluhy požadavků může být konstantní i různá. Teorie front se zabývá především případy, kdy jsou doby příchodů i časy opracování náhodné veličiny.

Vstupní proud požadavků, resp. počet požadavků za určitý interval, velmi často vyhovuje Poissonovu rozdělení. Tomu pak odpovídá exponenciální rozdělení intervalů mezi příchody. Samozřejmě se v praxi vyskytují i jiná rozdělení, jako například Erlangovo, logaritmicnormální, hyperexponenciální apod. Jejich řešení je však analyticky obtížnější.

Rovněž doba obsluhy většinou není konstantní. Na základě empirických poznatků bylo zjištěno, že i doba trvání obsluhy se obvykle řídí exponenciálním zákonem rozdělení.



Obr. 1-20 Schéma systému obsluhy (zpracováno dle [20] a [35])

U fronty je důležité, jakým způsobem přecházejí čekající jednotky z fronty do obsluhy. To se označuje jako režim / řád fronty. Existují tyto základní způsoby:

- FIFO – nejdříve je obsloužen nejstarší požadavek;
- LIFO – nejdříve je obsloužen nejnovější požadavek;
- PRI – obsluha probíhá dle přiřazených priorit jednotlivým jednotkám;
- SIRO – obsluha v náhodném pořadí.

Zároveň se u fronty definuje její disciplína, která vyjadřuje, zda je jednotka ochotna čekat na obsluhu. Mohou nastat tyto tři případy:

- absolutně netrpělivá – pokud jsou kanály obsluhy obsazeny, jednotka nevstupuje do systému a odchází bez obsluhy;
- bez netrpělivosti – jednotka čeká na obsluhu libovolně dlouhou dobu;
- částečně netrpělivá – jednotka čeká ve frontě určitou dobu, po jejím překročení odchází bez obsluhy.

U kanálů obsluhy je podstatný především jejich počet a uspořádání. Rozlišujeme systémy jednokanálové a vícekanálové. Pokud je kanálů více, může být jejich vzájemné uspořádání paralelní (jednotka může být obsloužena libovolným kanálem – zákazníci v obchodě), sériové (jednotka musí projít všemi kanály obsluhy – výrobní linka) a smíšené (kombinace – výrobní linka, kde se pracoviště skládají ze skupiny shodných strojů).

V teorii front existuje velké množství různého dělení a kategorizace podle různých hledisek, jejich výklad by však přesahoval rámec tohoto textu.

Abychom byli schopni popsat (definovat) jednoduše zkoumaný systém, byl vytvořen D. G. Kendalllem způsob zápisu, který umožňuje klasifikaci základních modelů hromadné obsluhy. Existují dvě formy zápisu – zjednodušená (zápis pomocí pouze tří znaků) a běžnější (se šesti znaky), jejíž zápis vypadá následovně:

A/B/C/D/E/F

- A** typ pravděpodobnostního rozdělení intervalů mezi příchody jednotek do systému, používají se označení: M – *exponenciální*, D – *konstantní intervaly*, E_k – *Erlangovo rozdělení*, N – *normální rozdělení*, G – *jiné rozdělení se střední hodnotou a směrodatnou odchylkou*
- B** typ pravděpodobnostního rozdělení popisující dobu obsluhy, používají se stejné symboly jako u předchozího
- C** počet paralelně uspořádaných kanálů obsluhy
- D** kapacita systému hromadné obsluhy (kolik jednotek může být maximálně v systému)
- E** velikost zdroje jednotek, může být i neomezený
- F** řád fronty (FIFO, LIFO, PRI, SIRO)

Použitím teorie front hledáme odpovědi na základní otázky, které představují číselné charakteristiky o průměrném průběhu obsluhy:

- průměrný počet požadavků ve frontě,
- průměrný počet požadavků v systému obsluhy,
- průměrné časové vytížení kanálu obsluhy,
- průměrný časový podíl prostoje kanálu obsluhy,
- průměrná doba čekání požadavku na začátek obsluhy (doba čekání ve frontě),
- průměrná doba pobytu požadavku v systému obsluhy,
- pravděpodobnost, že v systému obsluhy je i požadavků,
- pravděpodobnost odmítnutí.

Pro řešení problémů hromadné obsluhy lze použít v základu dva způsoby:

1. analytické řešení – na základě známých parametrů modelu s využitím nástrojů teorie pravděpodobnosti vypočítáme požadované parametry (charakteristiky o průměrném průběhu obsluhy), omezené použití v závislosti na složitosti řešeného problému, spíše pro základní typy systémů;
2. simulační řešení – na základě známých parametrů modelu vytvoříme simulační model – vhodné využití softwaru, použití pro složitější problémy.

Pro analytické řešení existuje velké množství různých vztahů, které jsou použitelné pro dané typy zkoumaných systémů. Jejich přehled by přesahoval rámec této práce (vzorce a odvození je možno dohledat především v literatuře [13]), proto uveďme pro představu jen základní vztahy odvozené pro jednoduchý model $M/M/1/\infty/\infty/FIFO$.

λ	<i>střední intenzita vstupu</i>	průměrný počet jednotek, které vstoupí do systému během dané časové jednotky
μ	<i>střední intenzita výstupu</i>	průměrný počet obslužených jednotek během dané časové jednotky
η	<i>střední intenzita provozu</i>	

Aby fronta nekontrolovaně nerostla, musí být splněna podmínka: $\lambda < \mu$

Pro střední intenzitu provozu platí:

$$\eta = \frac{\lambda}{\mu} \quad (6)$$

Při konstrukci modelu hledáme vztahy mezi veličinami charakterizujícími systém hromadné obsluhy a parametry λ a μ . Označme si charakteristiky průběhu následovně:

\bar{n}_s	střední počet jednotek v systému
\bar{n}_f	střední počet jednotek ve frontě
\bar{t}_s	střední doba strávená jednotkou v systému
\bar{t}_f	střední doba, kterou jednotka čeká ve frontě
p_n	pravděpodobnost, že se v daném okamžiku v systému nachází právě n jednotek
p_0	pravděpodobnost, že se v daném okamžiku v systému nenachází žádná jednotka

Pro jejich výpočet v případě uvedeného jednoduchého modelu platí:

$$\bar{n}_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (7)$$

$$\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (8)$$

$$\bar{t}_s = \frac{\bar{n}_s}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (9)$$

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{n}_f}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (10)$$

$$p_n = \eta^n (1 - \eta) \quad (11)$$

$$p_0 = 1 - \eta \quad (12)$$

Shrňme na závěr poznatky o teorii front. Jejím obsahem je zkoumání modelů, v nichž do určitého systému obsluhy, který může mít jednu či více linek obsluhy, vstupují jednotky, které mají být těmito linkami obslouženy. ([42], s. 1) Pracuje se s prvky náhody pro vstup jednotek do systému i pro dobu obsluhy. Modely je možno řešit analyticky, avšak pro složitější problémy je nutné využít spíše počítačové simulace. Cílem úloh je optimalizace počtu linek tak, aby mohly být všechny jednotky vstupující do systému rozumně obslouženy, ale aby zároveň nevznikaly zbytečné náklady na provoz nevyužitých kanálů obsluhy. Při zkoumání modelů získáváme důležité informace o průměrném průběhu obsluhy, na jejichž základě provádíme optimalizaci.

2 VYMEZENÍ OBLASTI ŘEŠENÍ, CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE A PRACOVNÍ HYPOTÉZY

Kapitola se věnuje třem základním oblastem. V úvodu je vymezena oblast, které by se autor práce chtěl věnovat. Jsou stanoveny okrajové podmínky pro uplatnění navrhovaných řešení. Na to navazuje část věnující se definování cílů, kterých by práce měla dosáhnout. V závěru jsou pak vyřčeny základní pracovní hypotézy.

2.1 Vymezení oblasti řešení práce

Dříve, než budou formulovány cíle práce, je potřeba vytyčit oblast řešení. Řízení výroby je tak široká problematika, že není možné hledat univerzální řešení vyhovující širokému spektru problémů, se kterými je možné se setkat .

Zatímco řízení opakované výroby je v literatuře velmi dobře popsáno a teoretické metody postupně stále více pronikají i do pro průmyslové praxe (nebo z ní dokonce vyšly), v neopakované výrobě je situace dosti odlišná. Ovšem pronikání teoretického aparátu a vědeckých metod do praxe není závislé jen na typu výroby, ale také na velikosti podniku.

Autor práce si jako řešenou oblast zvolil řízení zpracování zakázek v malých podnicích zabývajících se neopakovanou výrobou. Jedním z důvodů pro výběr oblasti týkající se malých výrobních podniků je jejich ekonomický význam. Ve statistikách Evropské unie je dobře patrný jejich podíl na trhu, a to nejen co do počtu firem, ale také jejich vlivu na zaměstnanost a různé další hospodářské ukazatele.

Úroveň malých podniků nedosahuje vyspělosti velkých nadnárodních firem. Potýkají se s nedostatkem financí, což se projevuje kromě jiného na možnostech zaměstnávání zkušených odborníků (finančně není únosné zaměstnat specialisty na plný úvazek, konzultantské firmy jsou drahé a nejsou schopny zakořenit principy v každodenní podnikové kultuře). Know-how tak bývá koncentrováno do velkých firem a pouze výjimečně se dostává do menších podniků. Výsledkem je pak zaostávání v úrovni řízení a aplikaci nových poznatků. Malé podniky tak bývají považovány za nositele nižších řádů inovací.

Dalším problémem je i to, že vývoj nových metod řízení a racionalizace se soustředí na velké podniky zabývajících se vysoce opakovanou výrobou především pro automobilový průmysl. Těm jsou metody šity na míru a jejich aplikovatelnost v jiných typech výrob je v určitých případech jen velmi omezená nebo zcela nemožná. Vzhledem k úsilí špičkových teoretiků a praktiků v oblasti opakované výroby je možno říci, že je dnes prakticky nemožné přijít s něčím skutečně novým, co by již nebylo nějakým způsobem popsáno a zpracováno.

S rostoucím objemem informací, které je nutné zpracovávat, roste i význam využití počítačové techniky, která umožňuje zvýšit rychlost i kvalitu zpracování a podporuje správné rozhodování. Kvalita a dostupnost dat je pro efektivní řízení podniku zcela neodmyslitelná. Bohužel se však setkáváme s názorem, že nasazení MRP systémů vyřeší všechny problémy za nás. Odhlédneme-li od faktu, že MRP je v dnešní době již do určité míry zastaralý koncept, je stále nutné mít na paměti, že jakýkoli informační systém je pouze jednou z pomůcek při řízení, nikoli samotným řídicím systémem. Neopakovaná výroba je rovněž specifická nízkou kvalitou vstupních dat. Často nejsou k dispozici všechna potřebná data nebo jsou nekvalitní.

Při vývoji IS je možno pozorovat určitou snahu o nahrazení práce nižšího managementu (mistrů) výpočetní technikou. Bohužel situace v neopakované výrobě je tak rozmanitá, že počítačový systém nemůže být v současnosti dosti flexibilní a všechny problémy zachytit a

vyřešit. Otázkou je, zda by nebylo lepší stavět systémy pro řízení výroby tak, aby byly spíše podporou mistrů než jejich náhradou.

Okrajové podmínky řešení jsou stručně shrnuty v následující tabulce:

<i>velikost podniku</i>	drobný (mikropodnik) až malý podnik (viz definice dle EU)
<i>obor podnikání</i>	strojírenská výroba
<i>výroba</i>	na zakázku (MTO, ETO), obvykle neopakovaná
<i>typ výroby</i>	kusová – malosériová
<i>výrobky</i>	jednoduché, levné - jednodušší obrobky, vylisky, svařence apod.
<i>technologie</i>	alespoň tři na sobě nezávislé technologie (nepředstavují souvislý výrobní proces, ale může být požadavek na využití pouze některé z nich), např. lisování, svařování, lakování, soustružení
<i>počet zakázek</i>	neustále se mění, minimálně 5 otevřených zakázek v daném okamžiku
<i>počet zákazníků</i>	relativně vysoký

Tab. 2-1 Vymezení řešené oblasti

1.1.1 Malé podniky

Základní pojmy jako je „neopakovaná kusová výroba“ a „řízení výroby“ byly rozebrány v předchozí kapitole. Pro úplnost je však potřeba ještě vymežit pojem „malý podnik“.

V odborné literatuře jsou malé podniky ve většině případů rozebírány společně s podniky střední velikosti. Proto se některé z dále uvedených údajů budou vztahovat k oběma typům podniků. Pro malé a střední podniky se můžeme setkat s označením „MSP“, které bude použito i v následujícím textu.

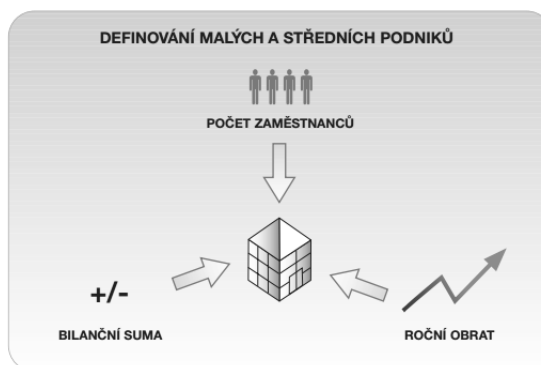
Definice malého případně středního podniku nemusí být vždy zcela jednoznačná. Pro hodnocení je možno použít různá hodnotící kritéria: počet zaměstnanců, obrat, aktiva, případně různé jejich kombinace. Vliv bude mít i předmět podnikání, styl řízení atd.

Příklad hodnocení velikosti podniků dle počtu zaměstnanců vytvořený na základě speciálního průzkumu názorů na charakteristiku malých a středních podniků je uveden v následující tabulce. Výzkum byl proveden v roce 2003 Melbourne Victoria University ve spolupráci s Information Resources Management Association. ([33], s. 23)

	Mikropodnik (drobný)	Malý podnik	Střední podnik
Austrálie / Nový Zéland	méně než 5 zaměstnanců	méně než 20 zaměstnanců	20 až 200 zaměstnanců
Kanada / USA	méně než 5 zaměstnanců	méně než 100 zaměstnanců	100 až 500 zaměstnanců
Evropa (EU)	méně než 10 zaměstnanců + obrat	10 až 50 zaměstnanců + obrat, aktiva	51 až 250 zaměstnanců + obrat, aktiva
Ostatní (Brazílie, Jižní Korea, Sp. Arabské Emiráty)	méně než 10 zaměstnanců	méně než 100 zaměstnanců	100 až 500 zaměstnanců

Tab. 2-2 Charakteristika velikosti podniku dle počtu zaměstnanců [Tidd, J. aj., 2005]

Pro nás jsou samozřejmě rozhodující kritéria EU. Při definici malého a středního podniku se zohledňuje nejen počet zaměstnanců, ale také aktiva podniku (bilance) a jeho roční obrat. Chce-li podnik splňovat definici MSP, musí mít méně než 250 zaměstnanců a musí být nezávislý. Roční obrat nesmí přesáhnout 50 milionů EUR, nebo roční bilance nesmí být vyšší než 43 milionů EUR.



Obr. 2-1 Kritéria zařazení podniku do kategorie MSP ([41], s. 13)

Kritéria pro rozlišení jednotlivých kategorií MSP uvádí tabulka:

Kategorie podniku	Počet zaměstnanců: Roční pracovní jednotka (RPJ)	Roční obrat	nebo	Roční bilanční suma
střední	< 250	≤ 50 milionů € (v roce 1996 40 milionů €)	nebo	≤ 43 milionů € (v roce 1996 27 milionů €)
malý	< 50	≤ 10 milionů € (v roce 1996 7 milionů €)	nebo	≤ 10 milionů € (v roce 1996 5 milionů €)
mikropodnik	< 10	≤ 2 miliony € (dříve nedefinováno)	nebo	≤ 2 miliony € (dříve nedefinováno)

Tab. 2-3 Kategorie podniků ([41], s. 14)

Malé a střední podniky jsou rozhodujícím hráčem v ekonomice Evropské unie. Podle dat z roku 2005 představovaly MSP 99,8% všech evropských podniků. V některých odvětvích průmyslu, například v kovovýrobě, zaměstnávaly MSP i více než 80% zaměstnanců.

I přes jejich globálně velký ekonomický vliv se však jednotlivé podniky potýkají s nemalými problémy ([33], s. 27):

- menší ekonomická síla spojená s obtížnějším přístupem ke kapitálu a rozvoji svých provozních kapacit,
- nedostatek prostředků na zaměstnání špičkových odborníků ve svém oboru,
- nositelé nižšího řádu inovací (opět kvůli nedostatku finančních prostředků),
- ohrožení nadnárodními společnostmi,
- neustále se měnící právní a správní akty spojené s podnikatelským prostředím.

Kromě toho se malé podniky často setkávají s kapacitními problémy. Musí čelit velkým výkyvům v zákaznické poptávce (přeplněné kapacity /nedostatečně využitá kapacita). Jak uvádí Novotný [31], vzhledem k častému zaměření na zakázkovou neopakovanou výrobu obvykle není možno využít ekonomických výhod z výroby ve větších objemech. Významnější negativní dopad ve srovnání s velkými podniky mohou mít také interní problémy – např. nemocnost.

Naproti tomu se v literatuře obecně zmiňuje větší flexibilita MSP, schopnost improvizace a rychlé reakce na změnu požadavků zákazníka, těsnější vztah zaměstnanců firmy s jejím vedením. Na druhou stranu však může být od zaměstnanců někdy vyžadována vyšší intenzita práce při současně méně příznivých pracovních podmínkách.

2.2 Cíl disertační práce

Práce se zaměřuje na oblast strojírenské výroby, ve které se chce autor soustředit na řízení výrobních procesů. Z obsahu předchozí kapitoly vyplývá, že řešená oblast byla zúžena na malé výrobní podniky zabývající se neopakovanou výrobou. Úroveň řízení výrobních procesů v těchto firmách je zřejmě nižší ve srovnání s velkými podniky se sériovou povahou výroby. Často se zde můžeme setkat s naprostou absencí využívání vědeckých metod řízení výroby. Pracovníci se spoléhají jen na zdravý rozum a intuici. To však nemůže být považováno za racionální způsob řízení.

Hlavní cíl práce je naznačen již v samotném názvu práce. Smyslem této práce je navrhnout, popsat a ověřit model řízení zpracování zakázek v malých podnicích zabývajících se neopakovanou výrobou. Měl by umožňovat efektivně řídit výrobní kapacity a v maximální možné míře zajistit plnění termínových požadavků zákazníků.

Navržený systém by měl umožnit stanovení vhodného okamžiku vpuštění zakázky do výroby a následné řízení průchodu zakázky výrobou až do okamžiku odvedení hotové výroby na sklad. Okamžik, ve kterém zahájíme výrobu, zásadně rozhoduje o hladině zásob. Ta je především pro malé podniky důležitá vzhledem k omezenému objemu kapitálu firem a potřebě finančních prostředků pro hrazení závazků dodavatelům. Pokud začneme s výrobou moc brzy, bude delší doba, po kterou budeme vázat aktiva v zásobách rozpracované výroby (delší průběžná doba výroby), a zároveň bude nutné zajistit dříve potřebný materiál. Naopak pozdní vpuštění do výroby může ohrozit zákazníkem požadovaný termín dokončení. Objem zakázek uvolněných do výroby pak zásadním způsobem ovlivňuje vytížení kapacit výrobního systému.

Při průchodu zakázky je vzhledem k odchylkám skutečnosti od výrobního plánu nutné provádět neustále zásahy do výroby – tzv. dispečerské řízení, které má na rozdíl od vysoce opakované výroby velký význam. Problémem je schopnost odpovědných pracovníků správně se rozhodnout o prioritě zpracování zakázek. Často nemají k dispozici potřebné údaje, podle kterých by se mohli správně rozhodnout. V daném okamžiku rozhodnutí jsou totiž bez podpory informačních systémů, které nejsou schopny dostatečně pružně reagovat na vzniklé odchylky a vytvořit nový plán reflektující aktuální situaci. Výrobní systém pak není možno racionálně řídit. Systém řízení popsaný v této práci by měl umožnit poskytnutí informací pro správné rozhodnutí v každém okamžiku. K tomu je potřeba zajistit rychlou zpětnou vazbu z výroby.

Aby mohla být činěna rozhodnutí rychle a pružně, mělo by být řízení výroby co možná nejvíce decentralizováno. V ideálním případě by měl být schopen i řadový výrobní operátor rozhodnout, která z čekajících zakázek by měla být vybrána z fronty jako další. Ne vždy je

totiž v dosahu řídicí pracovník, který by rozhodl a určil priority. Takový decentralizovaný systém velmi dobře funguje v sériové výrobě řízené kanbany. Decentralizace řízení neopakované výroby však jde proti základním definicím uváděným v teorii.

Model by měl být odolný vůči kvalitě vstupních dat. Ta jsou v diskutovaném typu výroby velkým problémem. Samozřejmě pak není možno očekávat nalezení optimálního řešení, ale snahou je nalézt v dané situaci za daných podmínek nejlepší možné řešení redukující objem termínových odchylek zakázek.

Hlavní cíl dizertační práce je možno formulovat takto:

„Navržení konceptu řízení výrobních procesů v malých podnicích zabývajících se strojírenskou výrobou kusové nebo malosériové povahy řešícího řízení průchodu zakázek výrobou při zohlednění nízké kvality vstupních dat a snaze o decentralizaci řízení.“

2.3 Hypotézy disertační práce

Při stanovování hypotéz se vycházelo jak z rešerší odborné české i zahraniční literatury, tak i z pozorování prováděných přímo v podnikové praxi.

Neopakovaná výroba v malých podnicích se potýká s velkým množstvím odchylek plánu od reality a specifickými podmínkami, které v ní panují, což znemožňuje úspěšné nasazení klasických plánovacích modulů běžných informačních systémů.

Již ze samotné podstaty neopakované výroby vyplývá, že nejsou k dispozici spolehlivá vstupní data pro vytvoření spolehlivého výrobního plánu. To se týká především časů výrobních operací, které není možno přesně znormovat a ověřit. Zároveň je průchod zakázek ovlivněn vzájemným pořadím zpracování. Nižší úroveň řízení vnáší do systému další těžko odhadnutelné odchylky.

Vzhledem k podmínkám panujícím v neopakované výrobě nepřináší vytváření výrobního plánu, který se snaží optimálně rozprostít objem konkrétně přijatých zakázek na stroje tak, aby byly výrobní kapacity rovnoměrně využity, skutečný předpokládaný efekt. Ve skutečnosti stejně dochází ke kumulaci zakázek a tvorbě front před pracovišti. Lze předpokládat, že pozitivní efekt může poskytnout i systém, který se nesoustředí na tvorbu optimalizovaného výrobního plánu, ale spíše na operativní řízení zpracování zakázek přímo v reálném výrobním systému. Role dispečerského řízení převládá nad pevně stanoveným plánem.

Disertační práce by měla ověřit následující hlavní hypotézy vyplývající z cílů práce:

H1: „Hodnocení rizikovosti výrobního procesu by mělo být jedním z kritérií pro stanovení ekonomické velikosti výrobní dávky.“

H2: „Je možno řídit pořadí zpracování zakázek na základě priorit přiřazovaných zakázkám podle jejich časových odchylek od hrubého časového plánu zpracování během jejich průchodu výrobou a zajistit tak minimalizaci termínových odchylek.“

H3: „Slučování zpracování technologicky podobných zakázek umožňuje zvyšovat výrobní kapacitu pracovišť, zkracovat průběžné doby výroby a zároveň snižovat termínové odchylky zakázek.“

3 POUŽITÉ VĚDECKÉ METODY ZKOUMÁNÍ

Při zpracování této kapitoly byla využita literatura [28].

Pro dosažení cíle disertační práce a ověření stanovených hypotéz bude nutné použít různé vědecké metody zkoumání jak obecného charakteru, tak i metody více specifické. Disertační práce by neměla být pouhým vyřešením určitého konkrétního problému, ale především by v sobě měla obsahovat vědecký pohled na problematiku a měla by umožnit zobecnit způsoby řešení, výsledky a podnítit akademiky k dalšímu přemýšlení a hledání řešení.

Tato práce svým zaměřením spadá do oblasti aplikovaného výzkumu. Z definice vyplývá, že při aplikovaném výzkumu na rozdíl od základního výzkumu známe odpovědi na otázky „Co?“ a „Proč?“ chceme řešit. Obsahem výzkumu je pak hledání způsobu řešení problému.

Předmětem řešení by mělo být řízení zpracování zakázek v malých podnicích zabývajících se neopakovanou výrobou. Této oblasti je oproti sériové výrobě věnována v literatuře výrazně menší pozornost, ačkoli je hospodářský vliv malých podniků v současné ekonomice bezesporu nezanedbatelný. Navíc řízení kusové výroby je uváděno jako nejkomplicovanější ze všech typů výroby.

Během zpracování práce projde autor jistě všemi čtyřmi stupni vědeckého zkoumání, jak je uvádí ([28], s. 40):

1. reporting (sběr dat, statistika, avšak bez odvození závěrů);
2. deskripce (hledání odpovědí na otázky „Kdo?, Co?, Kdy?, Kde?, Jak?“);
3. explanace (hledání odpovědi na otázku „Proč se tak stalo a jakým způsobem?“);
4. preskripce (nejvyšší stupeň vědeckého zkoumání, , hledání odpovědi na otázku „Co se stane když ...?“).

Zatímco první dvě fáze vyplývají přímo z pozorování v průmyslové praxi, explanace a preskripce již bude probíhat více v teoretické rovině s využitím experimentů, které jsou pro tento případ vhodné.

Při řešení bude nejprve nutné využít některých empirických metod, které je možno sdružit do následujících skupin:

- pozorování,
- měření,
- experimentování.

Pro poznání současného stavu v oblasti malých podniků zabývajících se neopakovanou výrobou je potřeba provést pozorování přímo v reálném provozu. Současné moderní metody řízení a zlepšování procesů upřednostňují řešení problémů přímo v místech, kde vznikají, místo pouhého analyzování reportovaných dat v kancelářích. S tímto přístupem se můžeme setkat například u stále více populárního Gemba Kaizenu.

Ne všechny děje však můžeme zachytit pouhým pozorováním, proto je ho nezbytné doplnit průzkumy, které by měly pomocí dotazování jednotlivých pracovníků dále prohloubit poznání problému. Nepostradatelným výstupem pohovorů se zaměstnanci je také nalézání odpovědí na otázky „Proč se to dělá tímto způsobem?, „Proč není možné dělat to jinak? apod. Lidé prakticky nikdy nedělají nic bez nějaké příčiny. Její odhalení je nepostradatelné pro následné určení správného směru řešení. Dalším vhodným nástrojem jsou také případové studie.

Při pozorování je riziko, že získaná data nebudou zcela spolehlivá nebo objektivní. U neopakované výroby je především nebezpečí, že bude zachycena pouze určitá konkrétní situace, která nebude zcela vypovídat o obecném stavu. To by mělo být minimalizováno při dlouhodobějším pozorování. Zároveň dotazování je potřeba provádět u více zúčastněných osob, aby byly redukovány subjektivní pohledy respondentů.

Teprve až když je zmapován a pochopen současný stav, je možné přikročit k jeho analyzování a následnému řešení. V této fázi se uplatní skupina logických metod, kam řadíme ([28], s. 41):

- abstrakci a konkretizaci,
- analýzu a syntézu,
- indukci a dedukci.

Podstatou abstrakce je vydělení pouze vybraných podstatných charakteristik určitého objektu (ostatní se zanedbávají, neuvažují). To umožňuje jednodušší řešení problému a zkoumání jen některých jevů, charakteristik. Využití této metody je vhodné například při experimentálním ověřování. Často je potřeba zjistit chování systému při omezeném počtu působících faktorů, aby bylo možno sledovat jejich konkrétní vliv. Zjistit, jaký je efekt určitého faktoru v systému, kde je větší množství působících vlivů, je prakticky nemožné. Použití abstrakce bude nezbytné při plánovaném ověření navrženého modelu pomocí diskrétní simulace.

Naprostou nezbytností je použití analýzy, jejíž podstatou je rozdělení celku na části, díky čemuž je možné zkoumat vztahy, vlastnosti a fakta. Dá se tak oddělit podstatné od nepodstatného či trvalé od přechodného. Při hledání kořenové příčiny problému, tedy toho, co je skutečně potřeba řešit, aby se došlo ke stabilnímu výsledku, se využívá kauzální analýza. Ta se zabývá zkoumáním příčin a následků. Její princip můžeme objevit v dnes běžně používaných metodách „5 proč“ nebo „strom současné reality“ a „strom budoucí reality“ (známé z teorie omezení - TOC). Kauzální analýza bude použita pro zkoumání prvotního problému, který způsobuje, že se daná situace řeší určitým způsobem, který se jeví jako neefektivní. Díky odhalené kořenové příčině je možno také stanovit okrajové podmínky řešení. Při kauzální analýze může dojít k chybě, kdy nebude nalezena skutečná kořenová příčina. Proto by měly být vyvozené závěry zpětně prověřeny.

Indukce je založena na vytváření určitých hypotéz vycházejících ze zjištěných poznatků. Vyvozuje se tak obecný závěr na základě poznatků o jednotlivostech. Proces indukce můžeme označit za subjektivní, protože je ovlivněn postoji osoby, která ji provádí. Vytvořené hypotézy je následně nutno ověřit. To se provádí pomocí dedukce. Obě metody jsou spolu úzce provázány, sekvenčně se střídají - hovoříme o tzv. Kolbově experimentálním cyklu. Pomocí indukce byly stanoveny výchozí hypotézy práce.

Velice důležitou metodou, která by měla být využita v této práci, je simulace. Konkrétně se v tomto případě jedná o diskrétní počítačovou simulaci. Ta umožňuje zkoumat různé scénáře a důsledky použití různých způsobů řešení. Simulace dává odpovědi na otázky „Co se stane, když ...“.

Diskrétní simulace je matematická metoda využívající tvorby počítačových modelů. Reálný systém se nahradí jeho počítačovým modelem, na němž je následně možno provádět různé experimenty s cílem získat informace o původním zkoumaném reálném systému. Výhodné je použití této metody především u složitějších systémů, kde je možno plně využít výhod zpracování pomocí počítačové techniky. Samotná simulace nám však nedokáže určit optimální řešení daného problému. Dokáže nám pouze definovat, co se stane, když provedeme určitou změnu v systému (přidáme stroj, zrychlíme dopravu apod.). V současnosti

se však již pracuje na různých nadstavbách, které by hledání optimálního řešení umožnily. Protože je pořízení simulačního softwaru a tvorba složitých modelů finančně náročná, je nutno nasazení této progresivní metody důkladně zvážit. [50]

Simulace by mělo být využito pro ověření navrženého modelu řízení zpracování zakázek. Vzhledem k tomu, že se v kusové výrobě prakticky nikdy nesetkáme se situací, která by se opakovala, je těžké porovnat různé scénáře chování. Nedokážeme tak zhodnotit, zda by se v případě jiného rozhodnutí dosáhlo lepších nebo horších výsledků. Díky simulaci však můžeme situaci neustále opakovat a provádět odlišná rozhodnutí nebo nastavení parametrů modelu. Získané výsledky je pak možné porovnat a určit, který ze zvolených způsobů směřuje k vytýčenému cíli. Zároveň se významně zkrátí časová náročnost testování hypotéz oproti ověřování v reálném systému.

Při použití simulace je vždy riziko, že nebude vytvořený model zcela správně odpovídat zkoumané realitě. Proto je potřeba provádět validaci. Stranou by při tom neměl zůstat lidský rozum. Jistě je možné do určité míry předvídat výstupy, které by měly z modelu plynout. Jestliže se předpoklady od výsledků výrazněji liší, může to být signál, že model není správně nastaven.

V této kapitole byly nastíněny základní vědecké metody (včetně uvedení potenciálních problémů spojených s jejich využitím), jejichž nasazení se předpokládá při zpracování disertační práce. Počet metod se však může ještě dále zvýšit vzhledem ke konkrétním potřebám vyplývajícím z řešení.

4 NÁVRH MODELU ŘÍZENÍ ZPRACOVÁNÍ ZAKÁZEK

Obsahem této kapitoly je návrh modelu řízení zpracování (výroby) zakázek v menším strojírenském podniku zabývajícím se převážně kusovou zakázkou výrobou. Budou zvažovány specifické podmínky panující v tomto typu výrobních systémů a pro ně bude navržen způsob, jak racionálně řídit výrobní procesy s ohledem na požadované termíny dokončení a výrobní náklady.

Práce se soustředí především na řízení výroby. Ačkoli za zpracování zakázky v širším významu lze považovat všechny potřebné činnosti od přijetí objednávky od zákazníka až po odvedení hotových výrobků na sklad, nebylo možno se vzhledem k rozsahu problematiky všem fázím věnovat. Proto se práce nezabývá například problematikou zajišťování materiálových vstupů pro výrobu, technickou přípravou výroby apod. Zpracování zakázek v širším pojetí se autor krátce věnuje pouze v úvodu kapitoly, následně pak svou pozornost obrací k hlavnímu cíli této práce, kterým je „fyzické“ řízení neopakované kusové výroby.

Je uvažována výroba jednoduchých součástí s jednoúrovňovou strukturou kusovníku. V případě víceúrovňových kusovníků by bylo nutné popsat model analogicky upravit. Tato práce si klade za cíl především popsat základní princip fungování, který je možno následně rozšiřovat.

4.1 Současná situace v oblasti řízení zpracování zakázek

Ačkoli je v této oblasti zpracováno poměrně dost teoretického aparátu, v běžné průmyslové praxi malých podniků se ho využívá jen zřídka. Ve firmách je možné se setkat s množstvím různých přístupů k řízení. Jejich velkým nedostatkem jsou však nesjednocené postupy, nejasná strategie a rozhodování na základě intuice. Tato kapitola a vlastně celá práce si klade za cíl dát podnikům zabývajícím se diskutovaným typem výroby alternativní model, jak při řízení výrobních procesů postupovat. Situace v různých podnicích může být často velmi odlišná, proto není možno navrhnout zcela univerzální metodiku, která by postihovala celou složitost problému. Přesto by mělo být možno z této práce vybrat ta řešení, která jsou pro danou situaci vhodná, nebo se alespoň inspirovat řešenými problémy a najít svá vlastní upravená řešení.

Co se týče pojetí zpracování zakázek v literatuře, běžně je popisován postup, kdy je přijata objednávka nebo je vytvořen odhad poptávky (v případě jiné než kusové výroby jsou vypočteny ekonomické výrobní dávky), provede se transformace na výrobní zakázku a ta je následně na základě jejího výrobního postupu a obsazení výrobních kapacit zaplánována do operativního výrobního plánu. Výrobní plán je základní dokument pro plánování a řízení výroby. Ve své podstatě určuje, co se kdy má vyrábět na jednotlivých pracovištích tak, aby byly nejen uspokojeny požadavky zákazníka především s ohledem na smluvený termín dokončení, ale byly také co možná nejvíce rovnoměrně využity výrobní kapacity a minimalizován objem zásob rozpracované výroby. Pro zaplánování zakázek („sequencing“) uvádí teorie mnoho různých matematických metod, které se snaží optimalizovat využití kapacit. Prakticky jde o určení vhodných okamžiků zpracování pro jednotlivé operace výrobních postupů všech zakázek tak, aby v jednom okamžiku nečekalo na stroj příliš mnoho zakázek a v další chvíli nebyl stroj naopak bez práce. Takto je dosahováno minimalizace čekání, což vede ke zkrácení průběžné doby výroby a tím ke snížení zásob rozpracované výroby.

Ve firmách se pro vytváření operativního výrobního plánu většinou využívá softwarové podpory v rámci informačního systému. Tyto softwary mají v sobě integrovány algoritmy,

kteřé berou postupně zadané výrobní zakázky a přiřazují je do volných míst v plánu pro požadovaná pracoviště. Někdy bohužel bez větší snahy o optimalizaci. Takto vzniklý výrobní plán by měl být následně předán do výroby a podle něj by mělo probíhat nejen objednávání materiálu, vyskladňování, ale také přiřazování zakázek na stroje.

Avšak na základě praktických zkušeností se ukazuje, že počítačem vytvořené výrobní plány v praxi příliš dobře nefungují. Firmy je pak vytvářejí spíše formálně a skutečná výroba probíhá převážně na základě intuice a dispečerského řízení mistrů.

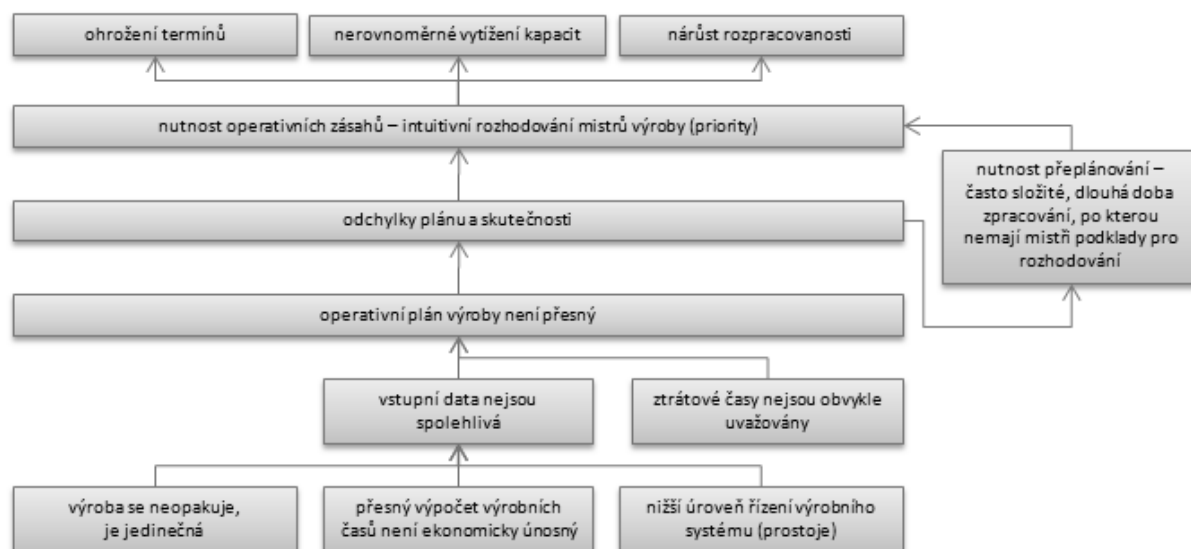
Je potřeba si uvědomit, že v okamžiku, kdy se začne realita s plánem rozcházet, zůstává mistr bez relevantních podkladů, podle kterých by mohl výrobu správně řídit. Tato situace trvá až do okamžiku, kdy je vytvořen výrobní plán nový. Avšak během jeho tvorby se musel mistr rozhodovat, což se ale pravděpodobně při tvorbě plánu nezohlednilo. To znamená, že ani nově upravený plán nemůže být správný, protože nezohledňuje zásahy, ke kterým došlo během jeho tvorby.

Některé z příčin nefunkčnosti vytvořených operativních plánů byly uvedeny v kapitole věnované operativnímu plánování. Jedním z hlavních důvodů může být již samotná podstata neopakované kusové výroby. Pokud nejsou k dispozici přesné a spolehlivé výrobní časy (nejlépe ověřené), znamená to, že do plánovacího algoritmu vstupují nepřesná data, ze kterých ani nejlepší software nedokáže vytvořit spolehlivý plán. Přesné výrobní časy však ve výrobě, která je jedinečná, prakticky není možné získat.

Zároveň je nutné konstatovat, že úroveň řízení je samozřejmě nižší než v sériové výrobě. Nejsou vždy připraveny optimální a stejné podmínky pro vykonávání zadaných úkolů. Proto, i kdyby bylo možné nanormovat přesné výrobní časy, došlo by vlivem mnoha působících faktorů při reálném zpracování k odchylkám. Například i při opakované výrobě stejné výrobní dávky nemusí být časy stejné, vliv může mít třeba míra podobnosti nastavení stroje po zpracování předchozí zakázky.

Velmi častou záležitostí je přiřazování priorit jednotlivým zakázkám. To se děje především při vzniku odchylek reality od výrobního plánu a nutnosti provedení korekcí. Existuje mnoho principů, podle kterých lze určité zakázky upřednostňovat. Velmi často je jako kritérium používán zákazník nebo tlak vyvíjený na dodání určité objednávky. Jiným kritériem může být termín dokončení apod. Obvykle však jde o kombinaci. V praxi se bohužel dosti často setkáme s rozhodováním a přiřazováním priorit na základě intuice. Jak uvádí prof. Líbal, praktické zkušenosti nebo intuitivní rozhodování mistrů nemohou být podkladem pro racionální řízení výroby. Na druhou stranu jsou to právě mistři, kteří znají konkrétní aktuální podmínky a omezení v daném okamžiku a musí rozhodovat. Proto by mělo být cílem podpořit jejich rozhodování dostatkem relevantních informací, aby mohli učinit správná rozhodnutí. Velice důležité je při tom získávání rychlé zpětné vazby a její vyhodnocení.

Pro rozbor situace panující v kusové zakázkové výrobě byla použita metoda 5W („5 Why“ – česky „5 proč“). Výsledné znázornění kauzálních vztahů znázorňuje následující schéma:



Obr. 4-1 Kauzální analýza situace v kusové výrobě

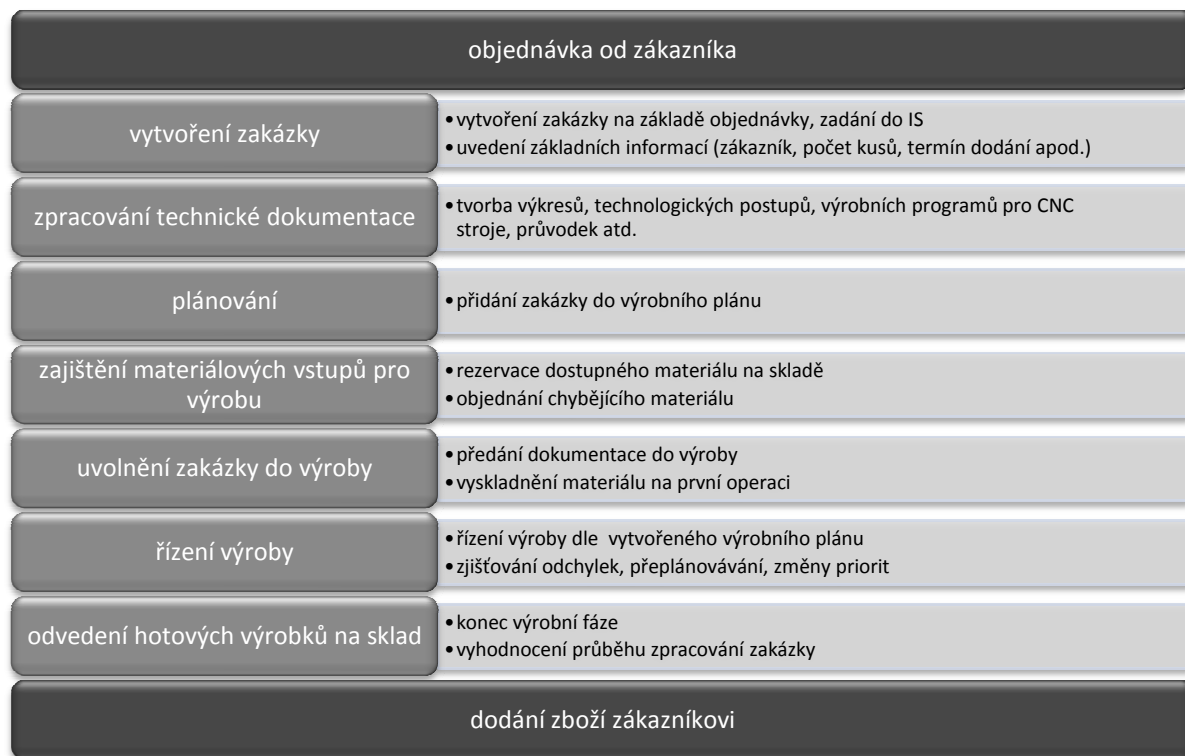
Autor této práce rozhodl přistoupit k řízení zpracování zakázek jiným než tradičním způsobem, který je uváděn v literatuře. Místo složité tvorby optimalizovaného výrobního plánu je plánování založeno na definování průměrně dosažitelné průběžné doby výroby izolovaně pro každou zakázku. Na základě zákaznickem požadovaného termínu dokončení a stanovené průběžné doby výroby je definován termín uvolnění zakázky do výroby. Po uvolnění do výroby je řízení průchodu zakázky výrobním systémem řízeno na základě odchylek. Metodika tedy již dopředu počítá s tím, že bude docházet k odchylkám mezi plánem a realitou (ať už z jakéhokoli důvodu), a soustředí se na poskytování správných a rychle dostupných podkladů pro dispečerské řízení, které by zajistilo zpětný návrat skutečnosti k plánu.

4.2 Obecný model zpracování zakázek

Zpracování zakázek v širším slova smyslu začíná obdržením objednávky od zákazníka a končí dodáním hotových výrobků. Objednávce v mnoha případech předchází zpracování hrubé cenové kalkulace a její předložení zákazníkovi. Zároveň dodání zboží nemusí být poslední fází zpracování, ale může následovat například montáž, servis či případné úpravy plynoucí z fungování nově navrženého výrobku v praxi. Mezi objednávkou a expedicí musí být vykonáno mnoho činností, které všechny můžeme zahrnout pod pojem „zpracování zakázky“.

4.2.1 Obecný model zpracování zakázek pozorovaný v praxi

Autor zkoumal průběh procesu zpracování zakázek v podmínkách reálných podniků a na základě pozorování vytvořil jeho zjednodušené obecné schéma. Samozřejmě situace může být v různých podnicích odlišná, některé fáze mohou být vynechány a naopak jiné doplněny, může se také měnit vzájemné pořadí, přesto by však následující schéma mělo poskytovat rámcovou představu o průběhu zpracování od přijetí objednávky až po dokončení fyzické realizace.



Obr. 4-2 Typický průběh zpracování zakázky

Tento model se při svém každodenním fungování potýká s problémy, a to nejen při samotné výrobě. První nedostatky se objevují již při zpracování technické dokumentace. Často jsou informace od zákazníků neúplné či málo srozumitelné. Někdy je konstrukční řešení navržené zákazníkem problematické z hlediska výroby. V jiných případech zase vyžaduje zákazník od firmy kromě výroby také vytvoření vlastního konstrukčního návrhu. To je pak samozřejmě opět nutno před realizací prodiskutovat a nechat schválit. I stanovení počtu vyráběných kusů není zcela jednoznačné. Někdy se může výroba pouze objednaného počtu kusů výrazně prodražit vlivem zmetkovitosti.

Další problémy nastávají při plánování. Někdy je tato fáze zcela vynechána (především případ skutečně malých firem), jindy jí může předcházet zajištění materiálových vstupů. To se děje zvláště v případech, kdy je potřeba zajistit specifický materiál, který není běžně veden na skladě. Zde pak nemá smysl začít plánovat výrobu, dokud není znám termín, kdy bude materiál dodán. V praxi se někdy začíná s výrobou ihned po dodání bez ohledu na výrobní plán. Samozřejmě je zde opět nutno zvažovat problém zmetkovitosti. Jestliže je riziko vysoké a dodací lhůty dlouhé, je potřeba objednat materiálu více, i když se předpokládá, že nebude dále využit.

Řízení výroby, tedy fyzické realizace zakázky, je pak asi nejobtížnější fází. Nebylo by tomu tak, kdyby vytvořený výrobní plán byl spolehlivý. Avšak vlivem odchylek a nízké spolehlivosti vstupních informací dochází k nesouladu mezi plánem a skutečností. V takové situaci hraje zásadní roli rozhodnutí mistra, který musí dle své intuice rozhodnout o tom, kterou z čekajících zakázek bude pracoviště zpracovávat jako další. Ne vždy je mistr také k dispozici a pracovníci obsluhující stroj čekají na jeho rozhodnutí, nebo se rozhodnou sami. Každopádně takové řízení je jen obtížně možné označit jako racionální.

Odchyly od plánu je nutno zohledňovat ve výrobních plánech – provádět přeplánování. To je často velmi obtížné a někdy není možné ho provádět ihned. Neaktuální výrobní plán se tak

stává bezcenným kusem papíru a mistr bezradným kapitánem lodi, která ztratila směr a snaží se pouze vyhýbat mělčinám a útesům.

4.2.2 Nově navržený obecný model

Autor práce se rozhodl na základě poznatků z praktického pozorování vytvořit upravený obecný model zpracování zakázek (viz Obr. 4-3), který by měl řešit některé z nastíněných problémů. Opět začíná obdržením objednávky a končí dodáním hotových výrobků zákazníkovi, liší se však činnostmi mezi těmito milníky. Zpracování je rozděleno na dvě základní fáze: přípravnou (vyznačena modře) a výrobní (vyznačena světle šedivou barvou).

V přípravné fázi probíhá upřesňování konstrukčního provedení a konečná definice vyráběného produktu. Na tu navazuje určení způsobu výroby, s čímž v dalším kroku souvisí výpočet počtu kusů, které by měly být zadány do výroby s ohledem na rizikovost výrobního procesu. Z těchto základních dat je pak vypočtena průměrná průběžná doba výroby dané zakázky, která zohledňuje nejen výrobní časy a počet vyráběných kusů, ale také požadavky na minimalizaci zásob rozpracované výroby (ve finančním vyjádření). Při výpočtu hraje roli také dlouhodobé průměrné kapacitní zatížení pracovišť, kterými má zakázka projít, a rozdílné směnné modely. Nevychází se tedy z aktuálních údajů, které se neustále mění, ale z dlouhodobě sledovaných dat. Na základě termínu dodání, bezpečnostního okna a vypočtené průběžné doby výroby je pak určen okamžik uvolnění zakázky do výroby. Přípravná fáze končí zajištěním potřebných materiálových vstupů.

Ve výrobní fázi se model zaměřuje na řízení zpracování zakázek dle odchylek skutečnosti od průměrného hrubého plánu. Odchylky přiřazují zakázkám hodnotu prioritního ukazatele. Priorita zakázek je tedy založena na míře jejich zpoždění proti plánu. V důsledku neexistence optimalizovaného výrobního plánu je potřeba regulovat vytížení výrobních kapacit. Proto kromě řízení průchodu každé jednotlivé zakázky je řízena i logika fungování pracoviště. Určuje se, zda je pracoviště považováno v danou chvíli za úzké místo bránící průchodu zakázek, či nikoli. Podle toho je pořadí zpracování zakázek určeno buď přiřazenými prioritami (ochrana termínů), nebo technologickou příbuzností čekajících zakázek (snížení kapacitního přetížení). Výrobní fáze končí odvedením hotových výrobků na sklad a případným zhodnocením průběhu zpracování.

Technická příprava výroby

Prvním rozdílem modelu pozorovaného v praxi a navrhovaného upraveného modelu je větší důraz na komunikaci se zákazníkem nejen o ceně a termínu, ale především o možných optimalizacích konstrukčního návrhu s ohledem na technologičnost a výrobní možnosti. Cílem technické přípravy výroby by neměla být pouhá tvorba výkresů a technologických postupů, ale samozřejmě také snižování výrobních nákladů, vytěžování výrobních kapacit a především uspokojení potřeb zákazníka.

Základem pro zapracování každé zakázky je jasná představa o tom, co se má vyrábět. To se týká nejen samotného konstrukčního řešení, ale i následného stanovení způsobu výroby (výrobního postupu). Diskutovaný typ výroby (kusová zakázková) se již z podstaty liší oproti sériové výrobě.

V sériové výrobě má zákazník konkrétní jasnou představu o výrobku. Má vlastní vývojový tým, který vytváří propracovaný design výrobku. S touto jasnou představou pak předstupuje před dodavatele, kteří obvykle nemají možnost cokoli na výrobku měnit, jejich úkolem je podřídit výrobu konstrukčnímu návrhu. Výjimkou jsou samozřejmě dodavatelé na vyšší úrovni, kteří spolupracují se zákazníky na designu dílů nebo je dokonce zcela sami vyvíjejí.

Naopak v zakázkové kusové výrobě zákazník přichází k dodavateli většinou pouze s hrubým návrhem či základními požadavky na výrobek. O konkrétním řešení je ochoten diskutovat. Je pak na jejich vzájemné komunikaci, aby našli takové řešení, které splní požadavky zákazníka a zároveň umožní co nejsnazší výrobu vycházející ze standardních ověřených postupů, které minimalizují riziko vzniku chyb, a umožňují přesněji stanovovat časy a parametry výrobních operací včetně nákladů, kde by měla být zároveň vyvíjena snaha o jejich minimalizaci. Cílem je dosáhnout stavu, kdy bude i zakázkový neopakovatelný výrobní proces „předvídatelný“. Ve své podstatě se přizpůsobuje konstrukční provedení výrobku možnostem výrobního systému.

V některých firmách dělají pracovníci TPV chybu, kdy při tvorbě výrobních postupů zvažují pouze ekonomicky nejvhodnější způsob provedení požadované operace. Ovšem tento způsob nezohledňuje vždy vytížení výrobních kapacit. To pak způsobuje kapacitní zahlcení určitých pracovišť, zatímco jiná jsou nevyužitá. Tím dochází k ohrožování smluvených termínů. Vhodným řešením by bylo poskytování zpětné vazby z oddělení výroby / plánování pracovníkům TPV o stavu vytížení jednotlivých pracovišť. Nemusí se jednat pouze o změnu způsobu provedení výrobní operace, ale také o předepsání operace pro konkrétní pracoviště v případě, že je možno provádět operace na více stejných či podobných strojích.

Problematika návrhu výrobku a volby vhodného technologického postupu však přesahuje rámec této práce a v dalším textu již nebude rozebírána. Spokojme se proto pouze s tvrzením, že je potřeba diskutovat o podobě produktu se zákazníkem a pokusit se produkt navrhnout tak, aby splňoval jak požadavky zákazníka, tak i možnosti výrobního procesu.

Velikost výrobní dávky

Navrhovaný model byl dále doplněn o rozšířený způsob stanovení výrobního množství, tedy určení počtu kusů zadaných do výroby. Zde by měl být zvažován nejen konkrétní požadavek zákazníka, ale rovněž celková rizikovost výrobního procesu, která může vést k určitému procentu zmetkovitosti. Vyrobení neshodného neopravitelného produktu v sobě neskrývá pouze náklady na znehodnocený materiál a dosud vynaloženou práci, ale rovněž potřebu dovyrobení chybějícího počtu kusů. S tím je spojena potřeba opětovného nastavení strojů, které může být velmi nákladné a může výrazně ovlivnit ziskovost celé zakázky i plnění termínů ostatních zakázek. Tato problematika je však podrobně diskutována v kapitole 4.3.

Řízení výroby

Zásadním rozdílem v obou modelech je způsob plánování a řízení fyzického zpracování zakázek přímo ve výrobě. Zatímco klasický koncept provádí řízení dle optimalizovaného výrobního plánu, navrhovaný model pracuje s odchylkami od průměrného časového plánu zpracování každé zakázky.

Průměrný časový plán zpracování zakázky se určuje v přípravné fázi. Jedná se o nepoměrně jednodušší algoritmus ve srovnání s plánovacími metodami. Cílem není získat obraz skutečné situace, ale pouze určité vodítko, k němuž je možno sledovat odchylky. Zároveň není nutno provádět přeplánování.

Při řízení se neodkazujeme pouze na hrubý plán, ale zohledňujeme vždy i aktuální situaci před každým pracovištěm. Model vychází ze skutečnosti a hledá za daných podmínek nejlepší řešení s ohledem na dodržování termínů, případně redukci kapacitního vytížení. Navrhovaný způsob řízení bude opět popsán v samostatných kapitolách.



Obr. 4-3 Návrh upraveného obecného modelu řízení zpracování zakázek

Model potřebuje pro své fungování vstupní informace. V zásadě je možno definovat dvě základní skupiny dat působící na řízení zpracování zakázek:

- vnější – objednávka od zákazníka,
- vnitřní – stav výrobního systému.

Objednávka od zákazníka definuje základní parametry:

- co se bude vyrábět;
- kolik se bude vyrábět;
- kolik je času na výrobu (termín dodání – datum objednání).

Tyto informace však nejsou přímým vstupem do výroby, ale jsou dále upravovány. Požadované konstrukční provedení může být diskutováno se zákazníkem vzhledem k výrobním možnostem daného výrobního podniku a potenciálnímu snížení nákladů. Objednaný počet kusů je transformován do výrobních dávek a termín dodání je pro výrobu upraven tak, aby vzniklo určité „bezpečnostní okno“ mezi termínem dohotovení - odvedení hotových výrobků z výroby na sklad - a požadovaným termínem dodání zákazníkovi.

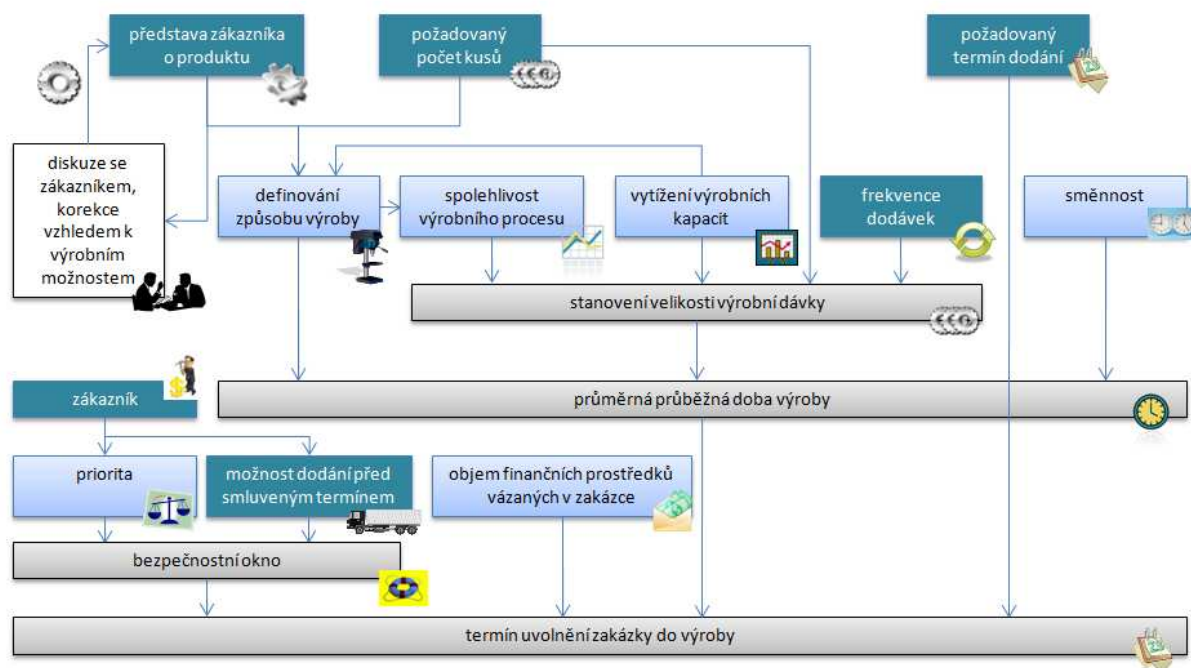
Stav výrobního systému dává informace například o:

- obecném a aktuálním vytížení výrobních kapacit,
- dostupných technologiích,
- spolehlivosti technologií,
- atd.

Tyto všechny informace jsou podkladem pro stanovení již více konkrétních dat, jako jsou například:

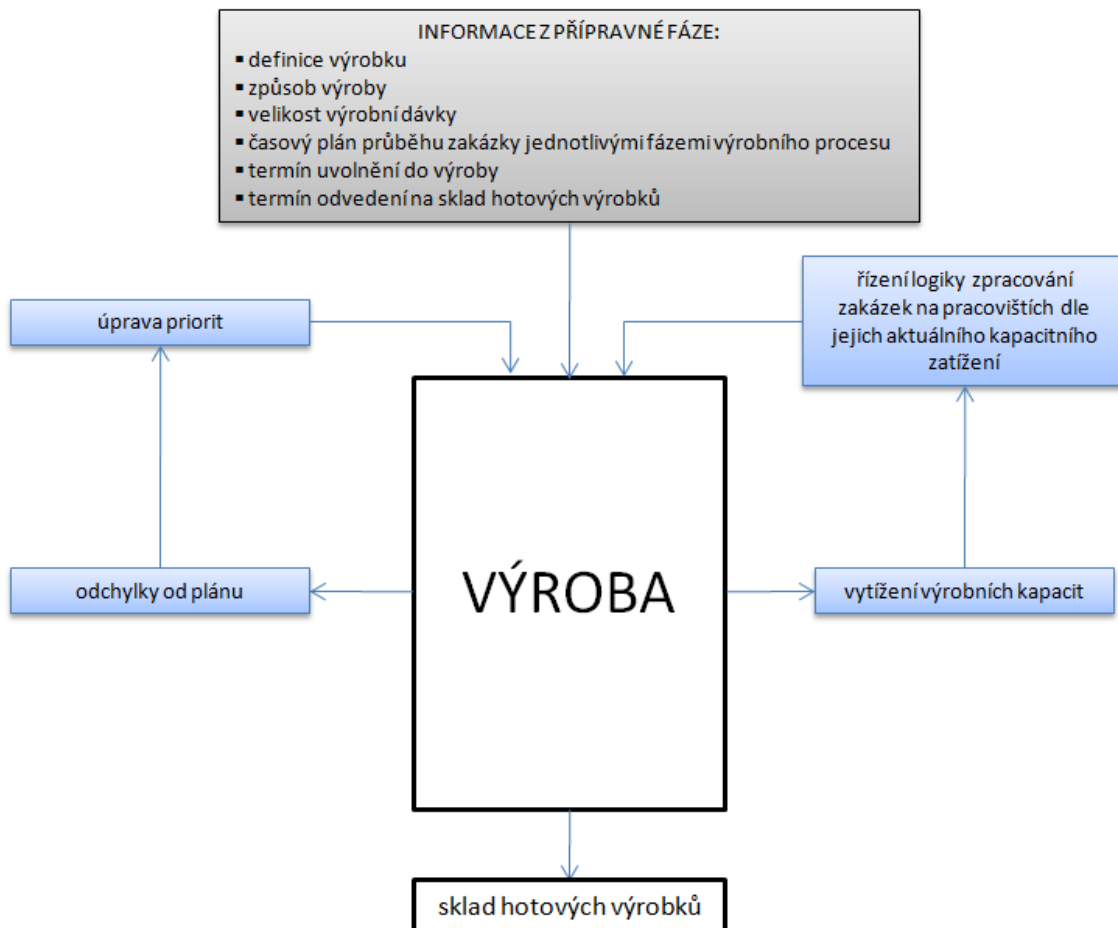
- způsob výroby (výrobní postup),
- počet kusů zadaných do výroby,
- průměrné průběžné doby výroby,
- potřeby kooperací (outsourcing),
- atd.

Informační tok (vstupní informace a jejich transformace) během přípravné fáze je zobrazen na schématu:



Obr. 4-4 Informační tok v modelu

Informace získané během přípravné fáze jsou pak vstupem pro fázi výrobní. V ní je hlavním cílem minimalizovat odchylky reality od plánu. Je potřeba přiřazovat priority všem zakázkám vpuštěným do výroby a podle nich upravovat pořadí jejich zpracování. Zároveň musí být řízeny výrobní kapacity, na které působí negativně přirozená nerovnoměrnost zákaznické poptávky.



Obr. 4-5 Výrobní fáze modelu

4.3 Stanovení výrobního množství zadaného do výroby

Podle [20] je prvním metodickým cílem operativního plánování výroby transformace plánu odváděné výroby na plán zadávané výroby jednotlivých částí výrobků – dílů, podsestav a sestav. Je tedy potřeba na základě poptávky od zákazníka stanovit ekonomicky výhodné výrobní dávky. Jinak řečeno není vyráběno vždy pouze přesně objednané množství, ale na základě přijatých objednávek a výhledů se stanovují výrobní dávky, které umožňují efektivně využívat výrobní kapacity.

Výjimku tvoří výroba na zakázku – MTO. U neopakované výroby, kdy podnětem k ní je konkrétní specifická neopakovatelná poptávka od zákazníka, se předpokládá výroba pouze objednaného množství kusů. Tento požadavek je logický vzhledem k tomu, že se neočekává, že by pro případné kusy vyrobené navíc bylo možno v budoucnu najít na trhu poptávku.

V praxi nastávají i případy, kdy zákazník objednávku daného výrobku neočekávaně zopakuje. Tato skutečnost je však obtížně odhadnutelná. I v případě, že zákazník dopředu avizuje, že bude chtít objednávku daného zboží zopakovat, není obvykle schopen závazně potvrdit celkový počet kusů. Nežádka též dochází při následující objednávce k úpravě designu

výrobku. To vychází z reálné aplikace prvních vyrobených kusů a zjištěných konstrukčních nedostatků, které chce zákazník při další objednávce odstranit.

Z uvedeného vyplývá, že u neopakované výroby se běžně počítá pouze s jednorázovou realizací konkrétní zakázky. V případě opakování objednávky konkrétního výrobku se dá jen obtížně určit požadovaný počet kusů a je reálné riziko hrozby změny designu produktu.

4.3.1 Výroba nepravidelné malosériové povahy

U daného typu podniku, kterým se tato práce zabývá, se většinou nesetkáváme pouze s čistě neopakovanou výrobou. V určitém poměru se obvykle prolíná i s výrobou více či méně pravidelné malosériové povahy. Zde je pak již nutno zvažovat, zda není ekonomicky efektivnější přejít na výrobu v dávkách. Na rozhodnutí mohou mít vliv:

- časový interval mezi jednotlivými objednávkami a pravidelnost,
- náklady na přípravu a zakončení na jednu dávku,
- složitost výroby,
- jistota příchodu dalších objednávek,
- variabilita objednávaného množství,
- pravděpodobnost požadavku na změnu konstrukčního řešení,
- aktuální kapacitní vytížení.

Především první dva faktory jsou spolu úzce provázány. Při rozhodování je proti sobě vždy nutno postavit úspory plynoucí z výroby větší dávky – redukování časů přípravy a zakončení výroby na jednotlivých pracovištích - a náklady plynoucí z vázanosti oběžných prostředků a potřeby skladování.

V teorii se běžně setkáváme se vztahem pro výpočet optimální výše výrobní dávky, který je analogií výpočtu optimální výše dodávky [37]:

$$d_v = \sqrt{\frac{2 \times N_{pz} \times Q_p}{N_j \times n_s \times t}} \quad (13)$$

N_{pz} ... náklady na přípravu a zakončení na jednu dávku v p.j.

N_j ... jednicové náklady

n_s ... roční náklady na skladování včetně úroku z hodnoty zásob v relativním vyjádření (z hodnoty 1 Kč zásob)

t ... období vyjadřující zlomek roku podle určení Q (jestliže jde o roční objem $t=1$)

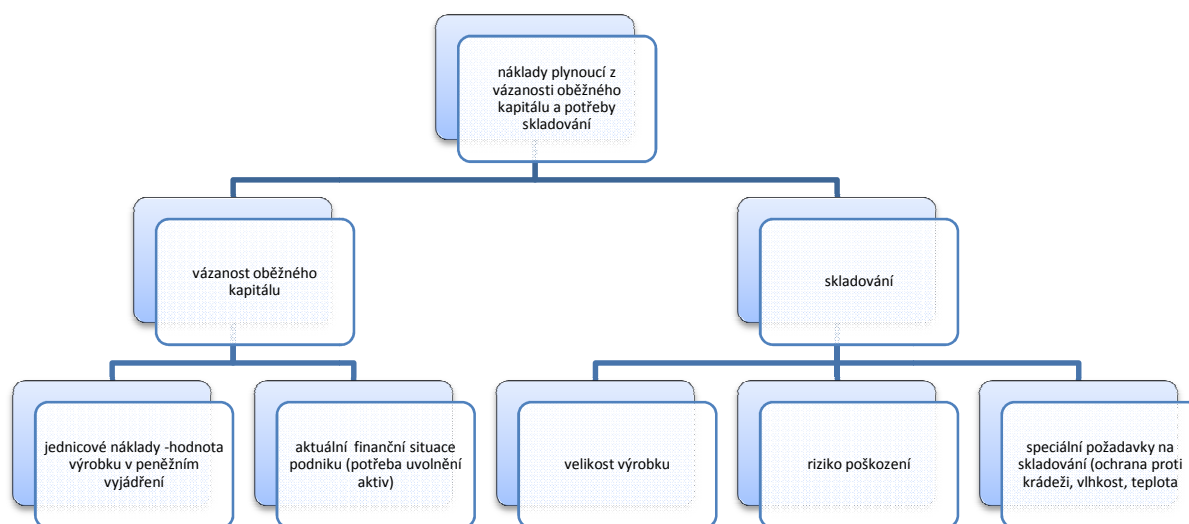
Q_p ... plánovaný objem výroby (v kusech, hmotných jednotkách)

V praxi je však určení vstupních parametrů často dosti obtížné a roli hraje více faktorů, které vzorec nezohledňuje. Rovněž opakovanost výroby je u námi rozebíraného typu podniku nízká. Zadání úlohy se tak může změnit z výpočtu optimální výrobní dávky na stanovení, zda je výhodnější vyrobit některé z konkrétních objednávek společně, nebo vyrábět izolovaně po jednotlivých objednávkách.

Určení nákladů na přípravu a zakončení jedné dávky by nemělo být náročné. Vychází z technologického postupu, který by měl být zpracován na určitém stupni detailnosti v každém výrobním podniku. Sečteme-li tedy přípravné časy na všech předepsaných pracovištích a vynásobíme-li je odpovídající sazbou pracoviště, máme zjednodušenou hodnotu N_{pz} stanovenou.

Celkový počet kusů požadovaných zákazníkem Q by měl být znám z přijatých objednávek, případně zaslanych výhledů. Pro přesnější výpočet je nutno znát jeho rozpad do jednotlivých dodávek d_1, d_2, \dots, d_n . Ty jednak nemusí mít stejnou velikost Q_1, Q_2, \dots, Q_n a intervaly mezi nimi mohou být rovněž odlišné t_1, t_2, \dots, t_n . Ve výše uvedeném vzorci počítáme s průměrnými hodnotami, protože předpokládáme rovnoměrnou výrobu v průběhu celého roku. To však může reálný výsledek zkreslovat v závislosti na nerovnoměrnosti skutečných dodávek.

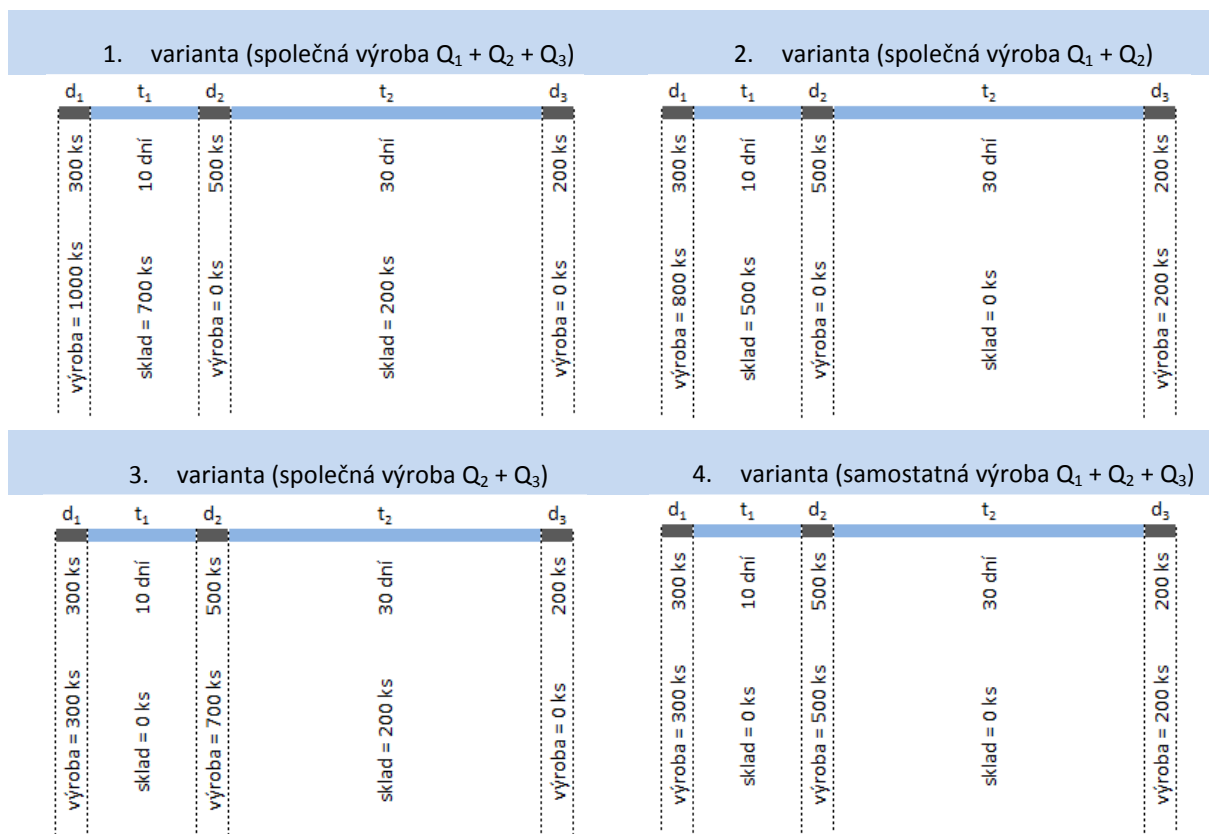
Základní vzorec provádí výpočet nákladů plynoucích z potřeby skladování a z vázanosti oběžného kapitálu přes jednicové náklady násobené ročními náklady na skladování včetně úroku z hodnoty zásob v relativním vyjádření na 1 Kč zásob. Stanovení této hodnoty je velmi důležité a je ovlivněno mnoha faktory.



Obr. 4-6 Faktory působící na výši nákladů

Praktický výpočet by byl složitý a v praxi dost obtížně realizovatelný. Proto se jeví vhodné určit jednotný koeficient n_{skl} vyjadřující náklady na udržování jedné koruny zásob. Základní hodnota koeficientu pak může být zvyšována nebo snižována především v závislosti na nárocích na skladovací prostor konkrétního výrobku a obecnou aktuální potřebu uvolnění oběžných aktiv ze zásob.

Ilustrujme si nyní popsany problém na příkladu. Zákazník požaduje výrobu o celkovém objemu 1000 kusů daného výrobku. Dodání zboží chce realizovat ve třech dodávkách $Q_1 = 300$ ks, $Q_2 = 500$ a $Q_3 = 200$ ks. Intervaly mezi dodávkami jsou $t_1 = 10$ dnů a $t_2 = 30$ dnů. Podnik se musí rozhodnout, zda je výhodnější vyrobit najednou celé množství 1000 ks, vyrobit společně pouze první dvě dodávky, vyrobit společně pouze druhé dvě dodávky, nebo vyrábět každou z dodávek zvlášť. Graficky by možné varianty řešení vypadaly takto:



Obr. 4-7 Varianty řešení zadané úlohy

Je zřejmé, že výhodou první varianty je oproti ostatním nutnost pouze jediného vynaložení nákladů na přípravu a zakončení dávky. Naproti tomu bude vykazovat nejvyšší náklady na skladování. Čtvrtá varianta bude vykazovat nulové náklady na skladování vyplývající z čisté výroby na konkrétní zakázku. Avšak bude nutno provádět třikrát nastavení strojů.

Výpočet nákladů jednotlivých variant:

Varianta 1:

$$N_1 = N_{pz} + [(Q - Q_1) \times t_1 + (Q - Q_1 - Q_2) \times t_2] \times N_j \times n_{skl} \quad (14)$$

Varianta 2:

$$N_2 = 2 \times N_{pz} + (Q_2 \times t_1) \times N_j \times n_{skl} \quad (15)$$

Varianta 3:

$$N_3 = 2 \times N_{pz} + (Q_3 \times t_2) \times N_j \times n_{skl} \quad (16)$$

Varianta 4:

$$N_4 = 3 \times N_{pz} \quad (17)$$

To, která z variant bude výhodnější, bude záviset na hodnotách parametrů N_{pz} , N_j a n_{skl} . Následující tabulka uvádí příklady různých kombinací a výsledných hodnot nákladů pro jednotlivé varianty:

N_{pz}	N_j	n_{skl}	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
1000	30	0,01	4 900	3 500	3 800	3 000
1000	20	0,01	3 600	3 000	3 200	3 000
1000	10	0,01	2 300	2 500	2 600	3 000
2000	30	0,01	5 900	5 500	5 800	6 000
2000	20	0,01	4 600	5 000	5 200	6 000
2000	10	0,01	3 300	4 500	4 600	6 000

Tab. 4-1 Porovnání výsledků při různých hodnotách vstupních parametrů

Varianta 3 se v daném příkladu nikdy nemůže stát nejvýhodnější, protože součin skladovaného počtu kusů a doby skladování je vyšší než u varianty 2.

Pokud není od zákazníka potvrzeno, že se budou objednávky opakovat, je výroba většího než skutečně objednaného množství dosti riziková. Je potřeba brát v úvahu i riziko požadavku na změnu konstrukčního řešení. Zvláště po prvním odzkoušení výrobků zákazníkem bývá obvyklé design měnit. S rostoucím počtem zopakovaných realizací se toto riziko obvykle snižuje. Přesto je však dobré se zákazníkem komunikovat, zda neplánuje provést nějaké změny.

Při rozhodování o tom, zda bude do výroby vpuštěno pouze aktuálně objednané množství, nebo se vyrobí ekonomicky vhodná dávka, je potřeba zohlednit také aktuální vytížení výrobních kapacit. V době, kdy je výrobní systém přetížen, je vhodnější volit menší dávky, které snadněji projdou úzkými místy. A to i za cenu složitějšího řízení výroby.

4.3.2 Výroba kusové neopakované výroby

Vraťme se nyní zpět ke kusové zakázkové výrobě. Zde se očekává, že výrobní dávka bude přesně odpovídat objednávce od zákazníka. Přesto se však v praxi setkáváme s tím, že je vyráběné množství větší. Zdá se to jako iracionální, protože se nepředpokládá, že by měl zákazník o nadbytečné kusy zájem. Odpověď může přinést provedená kauzální analýza viz Obr. 4-13.

Obecně můžeme vydefinovat dvě základní oblasti působící na rozhodování o počtu vyráběných kusů:

- polotovar,
- spolehlivost výrobního procesu.

Počet objednaných kusů často nevyužívá optimálně polotovar, ze kterého je výroba uskutečňována. Je to typické například pro výrobu z plechových tabulí, pásů nebo tyčovin. V opakované výrobě je možno výrobní dávku přizpůsobit optimálnímu využití materiálu. To však v kusové výrobě nelze. Řízení výroby pak stojí před otázkou, jak zbytek materiálu využít. Nabízejí se tyto základní možnosti:

- spojit výrobu s jinou zakázkou požadující stejný polotovar,
- zbylý materiál uskladnit a využít později,
- vyrobit takový počet kusů, který maximálně využije polotovar,
- sešrotovat zbylý materiál.

Jako nejvýhodnější se může jevit spojení výroby více zakázek požadujících stejný polotovar. Při tom odpadá nutnost dalšího skladování, materiál je efektivně využit, zároveň se spoří výrobní kapacita (náklady přípravy a zakončení dávky) a nevzniká nadvýroba. Nevýhodou je narušení výrobního plánu, protože je nutno uvolnit do výroby ve stejném okamžiku dávky, které měly být zpracovány v různých časech.

Skládování zbytků je problematické z hlediska nalezení vhodného prostoru a vizuálního managementu. V praxi pak může docházet k tomu, že se na zbytky „zapomene“ a nebudou využívány. Nejen proto je vhodné jejich existenci zahrnout i v informačním systému. Aby nevznikalo velké množství různých rozměrových variant, mohou být polotovary upravovány na zvolené ustálené velikosti. Takto je omezen vznik mnoha nových položek v IS.

Jestliže je materiál dále nevyužitelný, například z důvodu nemožnosti dalšího upnutí, speciálního materiálu, po kterém není poptávka apod., dochází obvykle k sešrotování.

Čtvrtou možností je výroba takového množství kusů, které maximálně využije rozměry polotovaru. Tím dochází k nadvýrobě. Výroba se tím jistí pro případ, kdy by byl některý z kusů během výrobního procesu zničen.

Tím se dostáváme k hlavnímu důvodu, proč může být volena větší výrobní dávka, než je počet kusů v objednávce. Tím je nespolehlivost výroby. Ta plyne především z neopakovatelnosti výroby. V sériové výrobě je výrobní proces „laděn“, provádí se mnoho testů, zkušebních výrob, jsou vytvářeny pracovní instrukce na vysokém stupni detailnosti atd. Takto je možno zaručit vysokou spolehlivost výroby, resp. nízké procento zmetkovitosti. Navíc v případě, že již dojde k výrobě neshodného výrobku, je obvykle možné doplnit chybějící polotvar ze zásoby u předchozí operace.

U zakázkové výroby však není prostor pro zkoušení. V zásadě chceme, aby byl prototyp zároveň „ostrým“ finálním kusem splňujícím všechny kvalitativní požadavky zákazníka. Naproti tomu působí velké množství nepříznivých faktorů, které se vyskytují i v opakované výrobě. Zde jsou však důsledky vážnější.

Prvním negativním faktorem způsobujícím riziko vzniku neshodných výrobků jsou materiálové vlastnosti. I když se jedná o standardně zpracovávaný materiál, jednotlivé dodané šarže se mohou lišit. To si pak vynucuje provádění korekcí na výrobním zařízení. V případě kusové výroby však obvykle nemáme zkušební vzorky a korekce výrobních parametrů ladíme přímo na výrobku. Provedení operace se špatně nastavenými parametry pak může způsobit nevratné poškození kusu.

Obdobný vliv může mít také úroveň opotřebení nástrojů. Změna geometrie břitu se může negativně projevit na výsledných rozměrech či jakosti povrchu.

U kusové výroby jsou kladeny vyšší nároky na pracovníky z hlediska jejich vzdělání a samostatnosti. Úroveň výrobní dokumentace, která se jim dostává do rukou, je na výrazně nižší úrovni ve srovnání s opakovanou výrobou. Není neobvyklé, že operátor špatně přečte výkres a vyrobí neshodný kus. Není přesně definováno, jak se má výrobní operace provést. Konkrétní výrobní postup dané operace je ponechán na uvážení a zkušenostech výrobního operátora. Někdy jsou požadována zvláštní provedení výrobních operací, které nemají vzor v minulosti. To vše opět může vést ke vzniku chyby.

Nejen operátor však může udělat chybu. Výrobní zařízení jsou mnohdy zastaralá a neudržovaná. Vůle v posuvových mechanismech, výpadky řídicích jednotek apod. představují další riziko pro kvalitu.

Z těchto důvodů se výroba obává vzniku neshodných výrobků (zničení kusů), při některé z výrobních operací. To by si vynutilo opakování výrobního procesu pro zničené kusy od první operace až do daného okamžiku, kdy došlo ke zniku vady. S tím je spojeno nové vynaložení nákladů na přípravu a zakončení výrobní dávky, které budou stejně velké, i když chceme vyrobit menší počet kusů. Prodlouží se průběžná doba výroby – výrobní dávka bude pozastavena a bude čekat na dovyrobení chybějících kusů, což s sebou nese další náklady

spojené s vázaností prostředků v zásobách rozpracované výroby. Prodloužení průběžné doby výroby ohrožuje termín dokončení.

Dodatečnou výrobu zničených kusů a dokončení zbývajících výrobních operací je nutno znovu promítnout do výrobního plánu. To je jednak mnohdy náročné, ale zároveň tím ohrožujeme i další zakázky. Rovněž bude potřeba vydat ze skladu nový polotvar na výrobu chybějících kusů. Tak spotřebujeme jednak více materiálu, než bylo předepsáno, ale můžeme tak vytvořit další hůře využitelné zbytky.

Kombinace působení všech uvedených faktorů pak ovlivňuje rozhodnutí, zda vyrábět pouze objednaný počet kusů, nebo výrobní dávku navýšit. Rozhodování probíhá v praxi víceméně intuitivně. Není proto možno očekávat, že provedená rozhodnutí budou vždy racionální.

Aby bylo možno racionálně stanovit počet kusů, které mají být zadány do výroby, je potřeba porovnat náklady plynoucí z výroby většího než objednaného množství a náklady spojené s dodatečnou výrobou kusů znehodnocených během výrobního procesu (při stanovení rizikovosti výrobního procesu). Jinak řečeno, je potřeba zjistit, zda je výhodnější dopředu předpokládat vznik určitého počtu neshodných výrobků a od začátku výrobního procesu vyrábět množství navýšené o tyto ztráty, nebo považovat výrobní proces za spolehlivý a vyrábět pouze objednaný počet kusů. V případě vzniku neshodného výrobku pak budou výrobní náklady často citelně navýšené.

Dodatečná výroba dalších kusů jako náhrady za zničené kusy s sebou samozřejmě přináší jak navýšení materiálové spotřeby, tak i nákladů na výrobní proces. Rozdělme proto řešení problému na dvě oblasti:

1. náklady výrobních operací plynoucí z rizika,
2. náklady na materiál plynoucí z rizika.

ad 1. Náklady výrobních operací plynoucí z rizika

Ve vyspělejších typech výroby se pro hodnocení rizik využívá metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis, analýza možného výskytu a vlivu vad). Ta se snaží dopředu odhalovat možné problémy jak při návrhu designu produktu, tak i při jeho výrobě. Její snahou je vzniku vad předcházet a docílovat tak úspor a zabezpečení spolehlivosti. Podstatou metody je vydefinování možných problémů, kterým se přiřazují hodnoty tří kritérií: význam vady (závažnost), výskyt vady (pravděpodobnost vzniku vady) a odhalitelnost (pravděpodobnost, že bude vada objevena). Vynásobením hodnot těchto tří kritérií pak získáme výsledný ukazatel tzv. RPN (Risk Priority Number).

Myšlenku metody FMEA můžeme použít v upravené formě i pro řešení našeho nákladového problému v kusové výrobě. Předpokládejme, že každá operace výrobního procesu pro nás představuje možné riziko vzniku vady. Pokud bychom chtěli vadu ohodnotit, můžeme říci, že její závažnost je taková, že pro nás znamená znehodnocení výrobku a nutnost jeho nové dodatečné výroby. Pravděpodobnost odhalení může být různá, může být odhalena již při samokontrolě na pracovišti nebo až na některé z následujících operací. Více nás však bude zajímat výskyt vady – jaká je pravděpodobnost, že vada vznikne. Tyto tři parametry nám však nebudou sloužit pro stanovení hodnoty RPN a přijímání opatření, aby k vadě nedošlo, ale pro porovnání nákladů.

Označme si tedy tři základní parametry:

- | | | |
|----------|-----|------------------------------------|
| <i>o</i> | ... | odhalitelnost |
| <i>n</i> | ... | náklady na odstranění vzniklé vady |
| <i>r</i> | ... | riziko vzniku vady |

Náklady plynoucí z rizikovosti výrobního procesu označme jako N_r . Ty budou funkcí výše uvedených tří parametrů a budou představovat vícenáklady, které se mohou objevit během výrobního procesu v důsledku jeho nespolehlivosti.

$$N_r = f(o; n; r)$$

Odhalitelnost

Pro hodnocení výrobních nákladů v našem případě zjednodušeně uvažujeme, že pokud vznikne vada, bude odhalena vždy přímo na pracovišti, kde vznikla. Samozřejmě se v praxi můžeme setkat s odhalením vady, která vznikla již na počátku výrobního procesu, například až na poslední operaci, kdy dochází k finální montáži. V takových případech by byl ale výpočet složitý, protože by se muselo kromě pravděpodobnosti, že na dané operaci dojde k chybě, uvažovat také o pravděpodobnostech, s jakými dojde k odhalení dané chyby postupně na všech následujících operacích. V běžné podnikové praxi malých podniků by tak složitý postup byl prakticky nepoužitelný. Vzhledem k zjednodušení bude tedy hodnota parametru rovna 1.

Riziko vzniku vady

Ke vzniku vady může dojít teoreticky na jakékoli operaci. Je však potřeba určit pravděpodobnost, s jakou k výskytu vady při provádění operace dojde. Ta bude pravděpodobně u každé operace různá.

Označme nyní rizikovost dané operace r_k . Tato rizikovost je dána jak obecně povahou daného výrobního procesu, tak bude ovlivněna i konkrétním výrobkem, který chceme na daném pracovišti opracovat. Rozložme proto rizikovost operace na dvě dílčí rizikovosti:

- obecná rizikovost operace r_g (generální),
- rizikovost konkrétního výrobku na dané operaci r_s (specifická).

Obecná rizikovost operace vyplývá ze složitosti procesu. Pro stanovení její hodnoty je možno vycházet z historických dat o procentuálním výskytu neodstranitelných vad. Hlavními faktory působícími na rizikovost procesu mohou být například:

- úroveň automatizace,
- stav výrobního zařízení (stáří, údržba, ...),
- vliv opotřebení nástrojů,
- složitost operace (nutnost korekcí, požadavky na operátora, množství parametrů, složitost nastavení stroje a nástrojů, ...).

Obecnou rizikovost r_g můžeme ještě dále rozpadnout na rizikovost výroby prvního kusu r_{g1} a následnou rizikovost výroby všech dalších kusů r_{gn} . Riziko znehodnocení prvního kusu plyne především z nutnosti počátečního nastavení správných parametrů výrobního procesu a korekcí, což není vzhledem k povaze výroby jednoduché. Toto riziko je obvykle větší než riziko, že vyrobíme neshodný kus po předchozím nastavení správných parametrů a odzkoušení. K tomu může dojít spíše vlivem nestability procesu vlivem špatného stavu výrobního zařízení, opotřebení nástrojů, chyby obsluhy (nízká úroveň automatizace) apod. Zatímco rizikovost r_{g1} vztahujeme pouze k prvnímu vyráběnému kusu, na kterém je potřeba odladit nastavení procesu, rizikovost r_{gn} ohrožuje všechny kusy ve výrobní dávce.

Obecně lze předpokládat, že:

- výrobní procesy s vyšší úrovní automatizace:

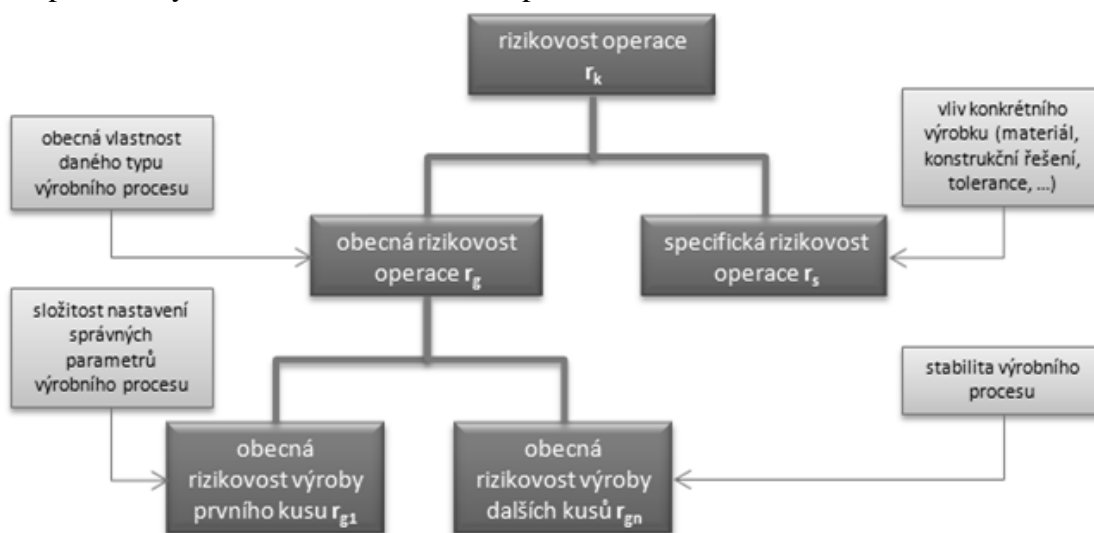
$$r_{g1} > r_{gn}$$

- výrobní operace bez automatizace:

$$r_{g1} < r_{gn}$$

Pokud by měl vliv na celkové riziko vzniku vady pouze typ výrobní operace, musely by být všechny výrobky ohroženy stejně. To však neplatí. Samozřejmě bude mít velký vliv i konkrétní výrobek, resp. jeho složitost. V neopakované výrobě nemůžeme pro jeho stanovení čerpat z historie, proto je jako podklad nutno využít profesionální odhad pracovníků TPV. Při určování rizikovosti konkrétního výrobku budou mít vliv:

- materiál výrobku (stabilita chování materiálu, zkušenosti s jeho zpracováním),
- konstrukční řešení (např. technologicky problematické operace),
- dřívější zkušenosti s podobnými výrobky,
- tolerance definované zákazníkem – nároky na přesnost,
- požadavky na zkušenost a zručnost operátora.



Obr. 4-8 Schéma struktury rizikovosti operace

Výsledná hodnota rizika vzniku vady při provádění k -té operace pak bude dána vztahem:

$$r_k = r_g \times r_s = [r_{g1} + r_{gn} \times (m - 1)] \times r_s \quad (18)$$

m ... počet kusů ve výrobní dávce

Při výpočtu je považována hodnota obecné rizikovosti za neměnnou pro zvolený typ výrobní operace / pracoviště. V rovnici se vyskytuje rizikovost výroby prvního kusu r_{g1} , která je uvedena pouze jedenkrát (jde o zjednodušení, protože může dojít samozřejmě k ohrožení i dalších kusů, pokud se opakovaně nedaří najít správné parametry, pro zjednodušení se však předpokládá nalezení správných parametrů ještě před výrobou druhého kusu z dávky), a rizikovost výroby dalších kusů, která je násobena počtem kusů v dávce m zmenšeným o jeden kus představující právě onen první vyráběný kus. Z uvedeného logicky vyplývá, že při výrobě pouze jednoho kusu se projeví pouze r_{g1} , naopak při zvětšujícím se počtu kusů ve výrobní dávce bude narůstat význam r_{gn} .

Obecná rizikovost je pak korigována vzhledem ke konkrétnímu výrobku, který tuto výrobní operaci požaduje. U jednoduchých výrobků, které se typově podobají běžně vyráběným výrobkům, bude hodnota r_s menší než jedna. Pokud výrobek nemá žádné speciální charakteristiky, můžeme vycházet pouze z obecné rizikovosti operace a r_s tedy volíme rovno jedné. U složitých výrobků, kde navíc chybí zkušenosti z minulosti s podobným provedením operace, bude hodnota r_s větší než jedna a tím se celková rizikovost zvýší.

Pozn.: Vzhledem k proměnným vyskytujícím se ve výpočtu nebude výsledek bezrozměrný koeficient, ale bude vycházet v kusech. Může tak například vyjít, že rizikovost operace je představována rizikem vzniku 0,46 ks neshodného výrobku, který bude nutno znovu vyrobit.

Sečteme-li rizikovosti vzniku vady na jednotlivých operacích, získáme celkovou rizikovost procesu. Dokud bude hodnota součtu nižší než jedna, můžeme předpokládat, že by neměl vzniknout více než jeden neshodný výrobek. Zvažujeme tedy, zda by bylo vhodné uvolnit do výroby o jeden kus více oproti objednavce. Jestliže součet překročí hodnotu jedna, je již potřeba zvažovat výrobu více než jednoho kusu navíc.

$$\sum_{k=1}^p r_k \rightarrow z$$

p ... počet operací výrobního postupu

z ... počet kusů, které by se měly vyrobit nad rámec objednávky, aby pokryly riziko

Náklady na odstranění vzniklé vady

Náklady na odstranění vzniklé (neopravitelné) vady (n), v řeči FMEA závažnost vady, budou rovny nákladům na dovyrobení odpovídajícího počtu zničených kusů od první operace až do daného okamžiku (k).

Můžeme uvažovat odlišnou situaci, pokud vznikne vada již při první operaci, nebo až při dalších operacích výrobního postupu. Při vzniku chyby na první operaci může být díky uvažovanému okamžitému odhalení vady ($o=1$) obratem zahájena výroba nového kusu nahrazujícího ten zničený. Vzhledem k tomu není nutné znovu nastavovat pracoviště a nevznikají tak opakovaně náklady na přípravu a zakončení dávky. Naopak vznikne-li chyba až při některé z dalších operací, nemůže pracoviště ve většině případů čekat na dovyrobení znehodnoceného kusu (přechod kusu přes všechny předcházející operace). Jeho nastavení musí být změněno na další čekající zakázku. To znamená, že je nutno počítat s náklady na přípravu a zakončení dávky všech předcházejících operací včetně té, kde vznikla vada. A proto:

- pro $k=1$:

$$n_k = n_{j_1} \times r_1 \quad (19)$$

- pro $k \neq 1$:

$$n_k = \sum_{i=1}^k [(N_{pz_i} \times d) + (n_{j_i} \times r_k)] \quad (20)$$

přičemž je nutno omezit hodnotu d :

$$\begin{aligned} \text{pokud } r_k < 1 &\rightarrow d = r_k \\ \text{pokud } r_k \geq 1 &\rightarrow d = 1 \end{aligned}$$

n_k	...	náklady výrobních operací na zopakování výroby od prvního až do k -tého kroku výrobního postupu
d	...	rizikovitost k -té operace, avšak omezující r_k vzhledem k nákladům N_{pzi}
i	...	číslo operace
k	...	počet operací, které je nutno zopakovat
N_{pzi}	...	náklady na přípravu a zakončení výrobní dávky na i -té operaci
n_{ji}	...	jednotkové náklady na i -té operaci
r_1	...	rizikovitost první operace – pravděpodobnost, že na první operaci dojde ke vzniku neopravitelné vady
r_k	...	rizikovitost k -té operace – pravděpodobnost, že na k -té operaci dojde ke vzniku neopravitelné vady

Zavedení proměnné d , která reprezentuje rizikovitost operace k , je vhodné z důvodu toho, že náklady na přípravu a zakončení dávky je možno vynaložit maximálně jednou. To znamená, že pokud je rizikovitost menší než jedna, pravděpodobně nebude vyroben více než jeden neshodný výrobek a můžeme tedy náklady N_{pz} redukovat vzhledem k možnosti, že nevznikne žádný neshodný výrobek. Překročí-li však r_k hodnotu jedna, vznikne pravděpodobně nejméně jeden nevyhovující výrobek, avšak i v takovém případě se předpokládá pouze jediné nastavení pracoviště pro všechny opakovaně vyráběné výrobky. Dosazením čísla vyššího než jedna by však bylo provedeno nadměrné započítání nákladů N_{pz} . Proto je vynaložení nákladů na přípravu a zakončení dávky omezeno maximálně na hodnotu jedna i při r_k vyšší než jedna.

Postup stanovení nákladů plynoucích z rizika je zřejmý. Vzhledem k zjednodušení je uvažována hodnota prvního parametru – odhalitelnost - rovna jedné, proto ho při výpočtu nemusíme zohledňovat. Je tedy možno přistoupit rovnou k definování rizikovostí r_k pro jednotlivé operace. Ty umožňují zohlednit rozdílnou míru rizika, které vzniká při jednotlivých krocích výrobního postupu. To je v následujícím kroku použito pro výpočet nákladů na zopakování výrobního procesu od první operace až do k -té operace, kde došlo ke vzniku neopravitelné vady. Opakování výrobního procesu si vynucuje opětovné vynaložení nákladů na přípravu a zakončení dávky všech předcházejících operací a rovněž jednotkových nákladů znovu vyráběných kusů. Sečtením těchto nákladů pro jednotlivé operace získáme celkové náklady plynoucí z rizika:

$$N_r = \sum_{k=1}^p n_k \quad (21)$$

Tyto náklady je možno následně přičíst k „čistým“ nákladům N_m představujícím pouze náklady výrobních operací na výrobu m kusů bez zohlednění rizika.

a) výroba pouze objednaného množství

Pokud by nedošlo na žádné z operací ke vzniku neopravitelné vady, byly by náklady na výrobu m kusů:

$$N_m = \sum_{i=1}^p (N_{pzi} + n_{ji} \times m) \quad (22)$$

N_m	...	náklady na výrobu m kusů (bez uvažování rizikovosti)
p	...	počet výrobních operací
m	...	počet objednaných výrobků

Uvažujeme-li však riziko, že může dojít během výroby ke vzniku neopravitelné vady, musíme pro daný výrobní proces stanovit náklady plynoucí z tohoto rizika N_r . Celkové náklady plynoucí z rizika můžeme vyjádřit součtem po jednotlivých operacích, jak uvádí vztah (21). Jsou to ve své podstatě náklady na dodatečnou výrobu redukované / navýšené o pravděpodobnost, že dojde k výrobě neshodných kusů.

Výsledné výrobní náklady N_v pak budou součtem čistých výrobních nákladů - bez uvažování jakéhokoli rizika a celkových nákladů plynoucích z rizikovosti výrobního procesu:

$$N_v = N_m + N_r \quad (23)$$

b) výroba většího než objednaného množství

Výpočet této varianty je jednoduchý. Jedná se v podstatě pouze o navýšení počtu vyráběných kusů ve vztahu (22).

$$N_v = \sum_{i=1}^p [N_{pz_i} + n_{j_i} \times (m + z)] \quad (24)$$

z ... počet kusů, o který navyšujeme objednaný počet kusů m z důvodu rizika

Ilustrujme srovnání nákladů na zjednodušeném příkladu, kdy zákazník požaduje výrobu 15 kusů výrobku. Výrobní postup výrobku se skládá ze čtyř výrobních operací, jejichž popis uvádí tabulka:

č. op.	typ operace	náklady na přípravu a zakončení výrobní dávky [p.j.]	jednotkové náklady na výrobu jednoho kusu [p.j.]	obecná rizikovitost r_g/r_{gn}	specifická rizikovitost r_s
1	lisování	65	15	0,04 / 0,02	0,90
2	sražení hran	2	3	0,01 / 0,03	1,00
3	ohraňování	50	8	0,12 / 0,02	1,15
4	lakování	25	12	0,05 / 0,03	1,00

Tab. 4-2 Výrobní postup

Vypočteme nejprve náklady při výrobě pouze přesně objednaného množství. První fází výpočtu je výpočet čistých nákladů bez uvažování rizika s použitím vztahu (22). Po dosazení nám vyjde:

$$N_m = 712 \text{ p.j.}$$

Nyní je potřeba vypočítat náklady plynoucí z rizikovosti N_r . K tomu musíme nejprve stanovit rizikovitost každé operace r_k a následně náklady výrobních operací na zopakování výroby z kusů od prvního až do k -tého kroku výrobního postupu n_k . Dosazením do vztahu (18) dostaneme:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,288 \\ r_2 &= 0,430 \\ r_3 &= 0,460 \\ r_4 &= 0,470 \end{aligned}$$

Z hodnot rizikovosti jednotlivých operací můžeme stanovit počet kusů z :

$$\sum_{k=1}^p r_k = 1,648 \cong 2$$
$$\sum_{k=1}^p r_k \in (1; 2) \rightarrow z = 2$$

Protože součet rizikovostí r_1 až r_4 má po zaokrouhlení hodnotu dva, měly by být navíc vyrobeny dva kusy. V případě, že by varianta s výrobou dvou kusů navíc vyšla jako nejvýhodnější, je možno prověřit i výrobu pouze jednoho kusu navíc.

Náklady výrobních operací na dovyrobení kusů:

- pro neodstranitelnou vadu vzniklou na první operaci:

$$n_1 = 4,32 \text{ p.j.}$$

- pro neodstranitelnou vadu na dalších operacích pak:

$$n_2 = 36,55 \text{ p.j.}$$

$$n_3 = 65,78 \text{ p.j.}$$

$$n_4 = 84,60 \text{ p.j.}$$

Po sečtení získáme celkové náklady plynoucí z rizika:

$$N_r = \sum_{k=1}^p n_k = 191,25 \text{ p.j.}$$

Celkové výrobní náklady pro výrobu pouze objednaného počtu kusů jsou pak:

$$N_v = 903,25 \text{ p.j.}$$

Pokud bychom počítali s tím, že během celého výrobního procesu vznikne jeden neshodný výrobek, který bude nutno znovu vyrobit, a chtěli se proti tomu dopředu jistit, zadáme do výroby již na začátku šestnáct kusů oproti objednaným patnácti. Náklady výrobních operací pak budou dle vztahu (24):

$$N_{v=16} = 750 \text{ p.j.}$$

To však nepokrývá celé riziko, a proto je nutno vypočítat především variantu s dříve stanoveným $z=2$, které vyplynulo ze součtu rizikovostí všech požadovaných operací:

$$N_{v=17} = 788 \text{ p.j.}$$

V uvedeném příkladu vyšla z hlediska nákladů na výrobní operace výhodněji varianta výroby většího než pouze objednaného množství patnácti kusů. Je však potřeba se rozhodnout, zda je pro výrobu lepší nepokrýt celé riziko a vyrobit pouze jeden kus navíc, nebo ho pokrýt s rezervou ($z=2$) za cenu nákladů vyšších o 33 p.j.

Na výsledek mají vliv především tyto dva faktory:

- poměr mezi dávkovými a jednotkovými časy operací (vysoké dávkové časy nahrávají výrobě většího než objednaného množství),
- rizikovitost jednotlivých operací (vliv rizikovitosti je znatelný především u posledních operací výrobního procesu, kdy je nutno zopakovat více operací výrobního postupu).

Přesto se ani tak nemusíme vždy rozhodnout pro vypočtenou výhodnější variantu. Vliv může mít totiž i polotovar / materiál, ze kterého jsou výrobky vyráběny. Především pokud bude rozdíl mezi výsledky obou variant propočtu nákladů výrobních operací malý, může být polotovar rozhodující.

ad 2. Náklady na materiál plynoucí z rizika

Ve strojírenské výrobě se můžeme setkat se dvěma druhy situací, co se týče zpracování polotovaru na hotový výrobek:

- z jednoho kusu polotovaru je vyroben jeden kus výrobku (např. odlitky, výkovky);
- z jednoho kusu polotovaru lze vyrobit více kusů výrobků (např. tyčoviny, plechy).

Pokud počítáme náklady na materiál z hlediska jeho spotřeby, je výpočet pro první případ jednoduchý. V druhém případě je potřeba náklady na polotovar rozpočítat na vyráběné kusy. Často se nám po výrobě určitého počtu kusů také objeví zbytky polotovaru, u kterých se musíme rozhodnout o jejich dalším využití. Tyto situace jsou pro typ výroby rozebíraný v této práci charakteristické.

Stanovení nákladů na materiál plynoucích z rizika v případě varianty, kdy zadáváme do výroby pouze objednané množství kusů, je možno vyjádřit následujícím vztahem:

$$N_{mat} = n_{mat_j} \times \sum_{k=1}^p r_k \quad (25)$$

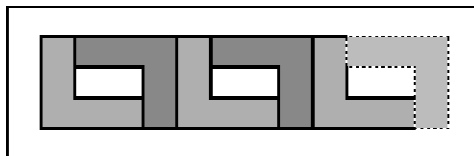
n_{mat_j} = normovaná spotřeba materiálu na jednotku produkce × cena materiálu
 N_{mat} ... náklady na materiál
 n_{mat_j} ... náklady na materiál na jednotku produkce

V případě varianty, kdy se dopředu jistíme proti riziku výrobou většího než objednaného množství, nahrazujeme sumu rizikovostí jednotlivých operací stanoveným počtem kusů z .

$$N_{mat} = n_{mat_j} \times z \quad (26)$$

Avšak pokud po výrobě objednaného počtu kusů m zůstává zbytek polotovaru, ze kterého je možno vyrobit další kus / kusy stejného výrobku, přičemž tento zbytek je jinak dále obtížně využitelný (nestandardní druh materiálu, malá velikost zbytku apod.) nebo zcela nevyužitelný (například ho není možno znovu upnout do stroje), je možno považovat náklady na materiál za prakticky nulové:

$$N_{mat} = 0 \quad (27)$$



Obr. 4-9 Výroba z polotovaru – využití zbytku materiálu

Toto není vhodné uvažovat v případě první varianty výroby pouze objednaného množství kusů. Zde se dá předpokládat, že vzniklý zbytek bude znehodnocen dříve, než by došlo k požadavku na dovyrobení potenciálně zničených kusů, nebo již nebude technologicky znovu použitelný.

Shrneme-li výše uvedené poznatky, můžeme říci, že v případě, kdy se dá využít jinak obtížně upotřebitelný zbytek polotovaru pro výrobu z kusů, dají se náklady považovat za prakticky nulové a tato varianta se jeví z hlediska využití materiálu jako vhodná. Zároveň můžeme využít počet kusů vyrobitelných ze zbytku polotovaru jako významné kritérium pro zvolení počtu kusů z vyráběných nad rámec objednaného množství.

Náklady na materiál plynoucí z rizikovosti procesu je potřeba následně přičíst k nákladům na výrobu objednaného množství kusů m . Tento součet pak dává celkové materiálové náklady.

4.3.3 Shrnutí

Kapitola se zabývala hodnocením některých rizik výrobního procesu v diskutovaném typu výroby. Vzhledem k povaze neopakované výroby jsou rizika významným faktorem působícím na efektivitu. Protože se jedná většinou o výrobu na zakázku, dalo by se předpokládat, že do výroby je zadáno jen objednané množství kusů. Přesto však bylo v této kapitole ukázáno, že situace nemusí být vždy tak jednoznačná a někdy může být efektivnější nadvýroba než striktní dodržování objednávek a následné řešení následků nestability a rizikovosti procesu. To vše si vynucuje zvažování počtu kusů, které budou zadány do výroby vzhledem ke konkrétním faktorům působícím na danou zakázku. Výše uvedený výklad nabízí možnost, jak varianty porovnat.

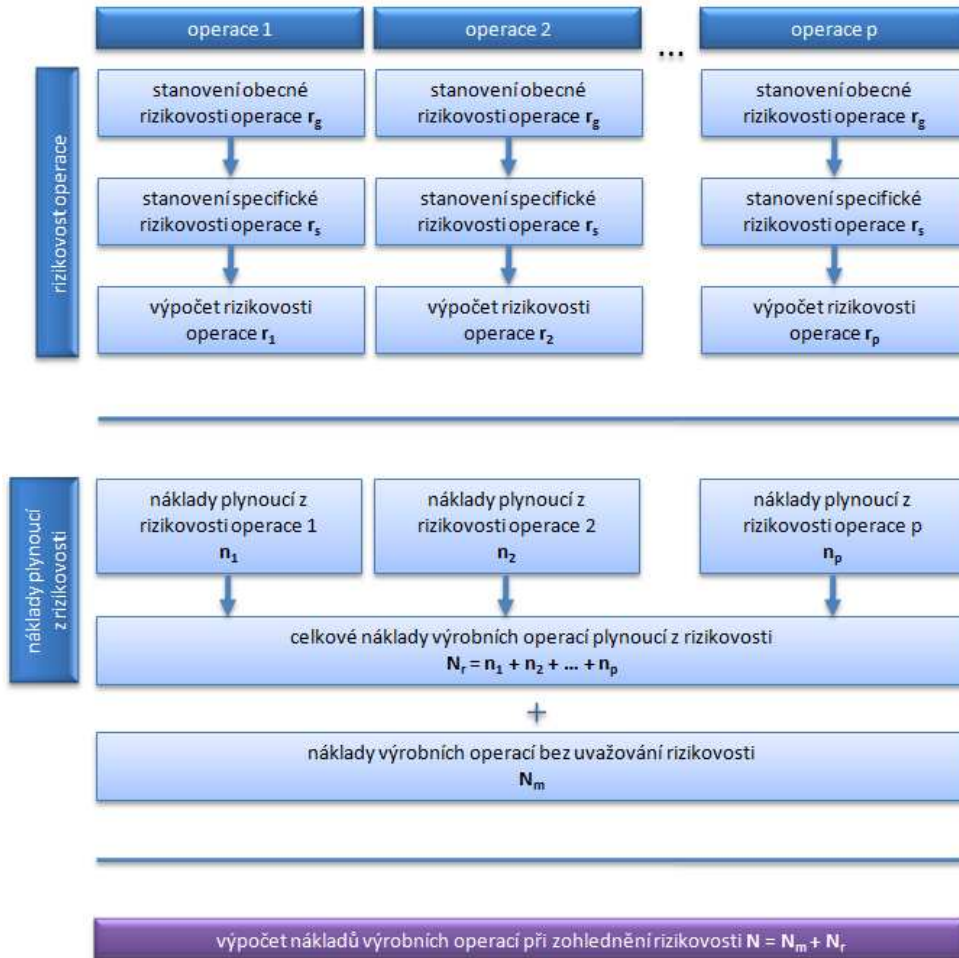
Zjednodušené stručné znázornění způsobu určení vhodného množství, které by mělo být zadáno do výroby, uvádí následující schémata. Jako první je uvedeno schéma pro výpočet nákladů výrobních operací pro situaci, kdy vyrábíme pouze objednané množství kusů a přičítáme náklady, které se mohou objevit v důsledku vzniku neodstranitelné chyby na některé z operací. Další schéma znázorňuje výpočet, kdy se od počátku jistíme proti těmto nákladům plynoucím ze vzniku neodstranitelných vad plánovanou výrobou kusů navíc oproti objednavce. Díky nim by pak v případě zničení výrobku na některé z operací nebylo nutno opakovat jeho výrobu, ale pouze by se použil jiný rozpracovaný kus.

K nákladům výrobních operací je pak nutno přičíst náklady na materiál tak, jak uvádí třetí schéma. Výpočet se provádí za účelem stanovení materiálových nákladů na kusy, které mají nebo s určitou pravděpodobností budou muset být vyrobeny nad rámec objednávky. Výpočet materiálových nákladů na počet kusů požadovaných objednávkou je prováděn standardně.

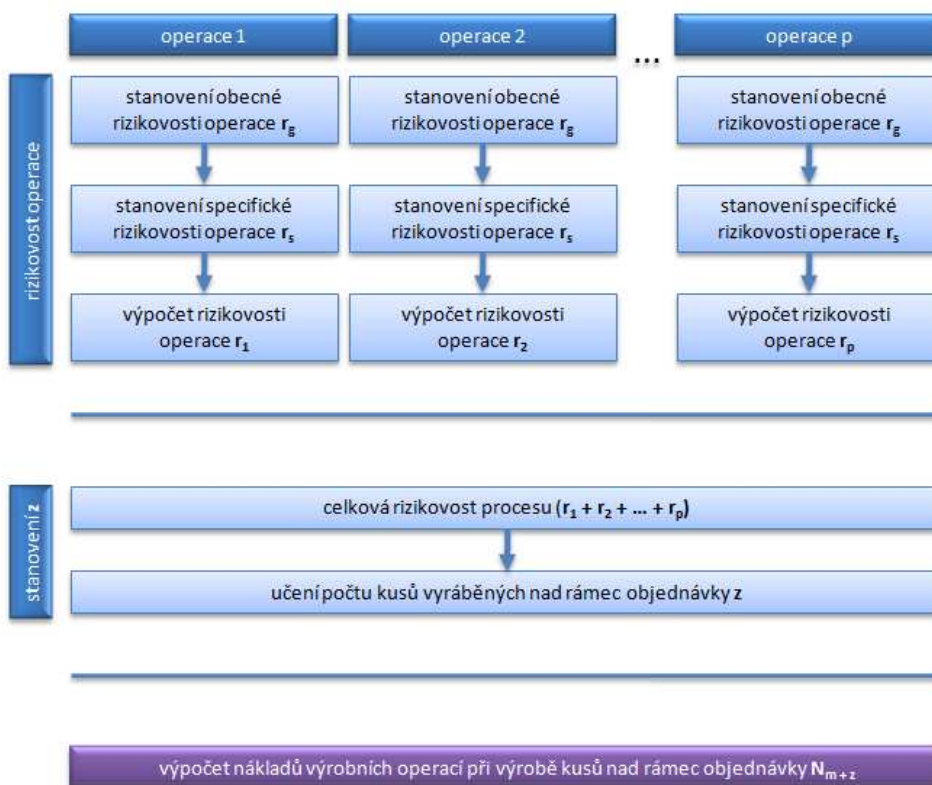
Pokud se od začátku jistíme proti vynucené výrobě náhrady za kusy zničené v průběhu výrobního procesu (opakování výroby) výrobou pevného počtu kusů z nad rámec objednávky, jsou náklady získány jednoduchým vynásobením počtu kusů z a materiálových nákladů na jednotku produkce. V případě vzniku jinak obtížně využitelného zbytku polotovaru je možno získat výhodu uvažováním nulových materiálových nákladů při využití tohoto zbytku pro výrobu celého počtu z kusů nebo alespoň jeho části. Počet kusů vyrobitelný ze zbytku polotovaru může sloužit i pro zpětné korigování počtu kusů z .

V případě rozhodnutí o výrobě pouze objednaného počtu kusů se materiálové náklady na vynucenou výrobu nad rámec objednávky stanoví vynásobením materiálových nákladů na jednotku a celkovou rizikovostí výrobního procesu (součet rizikovostí jednotlivých operací).

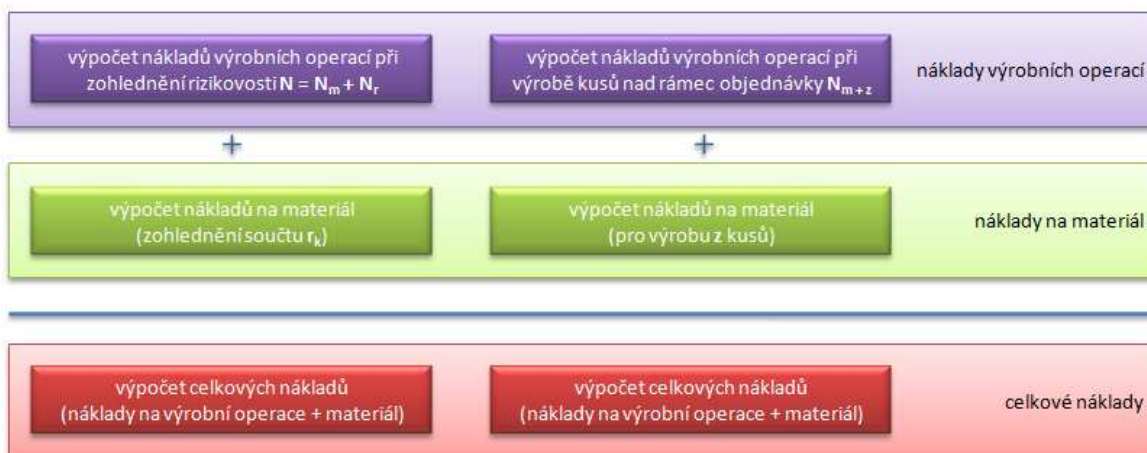
Výsledek propočtu obou variant pak dává podklad pro rozhodnutí o počtu kusů, které by měly být uvolněny do výroby.



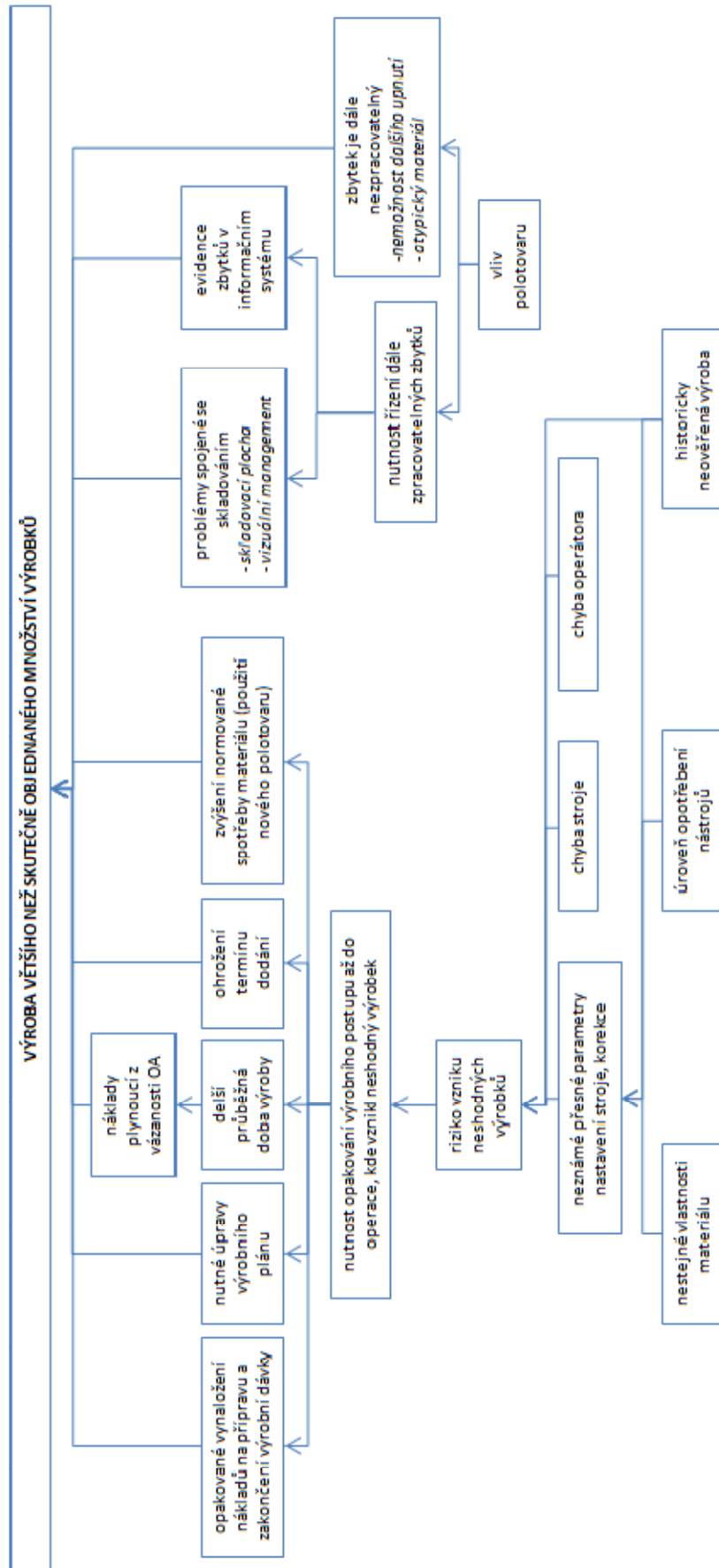
Obr. 4-10 Náklady výrobních operací při výrobě přesně objednaného počtu kusů



Obr. 4-11 Náklady výrobních operací při výrobě většího než objednaného počtu kusů



Obr. 4-12 Celkové náklady – podklad pro volbu výrobní varianty



Obr. 4-13 Kauzální analýza – výroba většího než objednaného počtu kusů

4.4 Plánování časového průběhu výroby zakázky

Ve chvíli, kdy je jasné konstrukční provedení hotového výrobku, je definován výrobní proces ve formě výrobního postupu a zhodnocena ekonomicky vhodná velikost výrobní dávky, je možno přistoupit k plánování časového průběhu zpracování zakázky. V literatuře bývá tato doba označována jako průběžná doba výroby.

Jak bylo uvedeno v kapitole 1.5.1, průběžná doba výroby je časový úsek od započetí první operace na výrobku až po odvedení hotových výrobků na sklad. Skládá se jak z technologických, tak i netechnologických časů a přerušení výroby. Doba trvání času technologických operací by měla být jasně popsána v technologickém postupu. Stanovení doby trvání netechnologických operací a různých přerušení je náročnější. Z obecného pohledu platí:

$$\text{průběžná doba výroby} = \sum \text{technolog. časů} + \sum (\text{netechnolog. časů} + \text{přerušení})$$

V kusové neopakované výrobě je podíl netechnologických časů a přerušení obvykle výrazně vyšší. Je to dáno například výkyvy v požadavcích na výrobní kapacity, nízkým počtem kusů vyráběných od určitého druhu výrobku, úrovní řízení výroby atd.

Průběžná doba výroby je základní parametr, který určuje schopnost výroby nejen splnit zákazníkem požadovaný termín dodání, ale je také ukazatelem efektivnosti fungování výrobního procesu a výrazně ovlivňuje objem zásob rozpracované výroby. Z těchto důvodů je nutno jí věnovat velkou pozornost.

Při klasickém plánování se vychází z technologických časů operací z výrobního postupu. Podle jejich délky a návaznosti jsou hledána volná místa ve výrobním plánu na jednotlivých pracovištích. Tímto je pak ovlivněna průběžná doba výroby. Podle aktuálního vytížení výrobních kapacit se tedy průběžná doba stejného výrobku může v různých okamžicích lišit. Pokud jsou kapacity málo obsazené, je možné zakázku zpracovat rychleji než v případě přetížených kapacit, ačkoli se jedná o naprosto stejný produkt. Zásadní roli zde tedy hrají přerušení výroby vyplývající z výrobního plánu. Optimalizace se dosahuje pomocí různých matematických metod, které se snaží zlepšit návaznost jednotlivých výrobních operací. Je však nutno opět konstatovat, že v prostředí reálného výrobního systému dochází k tolika odchylkám, že dosažení optima je prakticky nemožné.

V úvodu kapitoly bylo řečeno, že model řízení zpracování zakázek navrhovaný v této práci, nepracuje s klasicky pojatým výrobním plánem. Nastává tak otázka, jak je v takovém případě možné určit průběžnou dobu výroby.

Základem je dekompozice průběžné doby výroby zakázky na dvě kategorie:

- čas opracování – aktivní stav,
- čas čekání – pasivní stav.

V jiných stavech se zakázka nemůže nacházet. Vždy můžeme říci, že se na dané zakázce buď pracuje (aktivní stav), nebo teprve čeká ve frontě před pracovištěm na další zpracování (pasivní stav). Aktivní stav zakázky v sobě zahrnuje nejen provedení samotné technologické operace, ale rovněž přípravu pracoviště, seřízení stroje či kontrolu vyrobeného kusu. Jde tedy o souhrn technologických i netechnologických operací. Ačkoli netechnologické časy vyplývají z činností, které z pohledu zákazníka nepřidávají výrobku hodnotu, nelze bez nich výrobu požadovaného produktu uskutečnit. Proto jsou z pohledu této práce zařazovány do aktivního stavu zakázky.

Naopak pasivní čas je představován dobou, kdy je zakázka zařazena do fronty zakázek čekajících před určitým pracovištěm na opracování. Dokud tedy pracoviště pracuje na jiné zakázce, jsou všechny čekající zakázky v pasivním stavu. Do aktivního stavu přejde zakázka až v okamžiku, kdy je dokončeno opracování předchozí zakázky a pracoviště začne být představováno na výrobu dané zakázky. Začíná se seřízením pracoviště, pokračuje se výrobou a končí kontrolou hotového výrobku a případným balením či transportem (aktivní stav). Po dokončení je zakázka odeslána buď do skladu hotových výrobků, nebo do fronty před dalším pracovištěm dle technologického postupu. Přechází tedy logicky zpět do pasivního stavu.

Až potud je rozlišení aktivního a pasivního stavu zakázky jednoduché. Avšak v praxi se neseťkáváme pouze s výše uvedenými stavy. V reálné výrobě dochází k přerušením vlivem:

- poruch,
- plánovaných přestávek,
- organizačních prostojů,
- problémů s kvalitou,
- různých mikro-poruch a zpomalení.

Zdálo by se, že všechna tato přerušení by měla být zařazena do pasivního stavu zakázky, protože v tom okamžiku všechny zakázky čekají na ukončení přerušení. Avšak problém není tak jednoznačný. Jestliže vznikne například porucha na stroji, dojde samozřejmě k prodloužení doby čekání zakázek ve frontě (pasivního stavu). Avšak pro zakázku, která je právě na pracovišti zpracovávána a je tak v aktivním stavu, jde fakticky o prodloužení doby zpracování.

Autor práce se rozhodl uvedené druhy přerušení zahrnovat jak do aktivního (v případě přerušení během zpracování zakázky), tak i pasivního stavu zakázky (pokud naopak dojde k přerušení během čekání ve frontě před pracovištěm). Příklad z pohledu jedné zakázky uvádí následující obrázek:

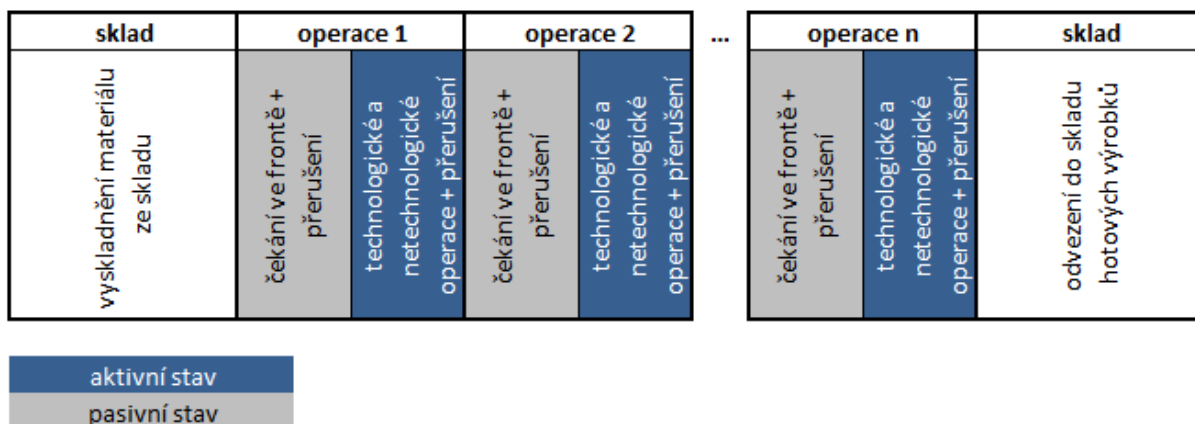
1. operace								2. operace						3. operace							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
čekání ve frontě před pracovištěm	porucha	čekání ve frontě před pracovištěm	seřízení	výroba	čekání ve frontě před pracovištěm	seřízení	zahájení výroby	porucha	dokončení výroby	čekání ve frontě před pracovištěm	zahájení výroby	přerušení - směna, kdy není pracoviště v činnosti	dokončení výroby								

aktivní stav
pasivní stav

Obr. 4-14 Pasivní a aktivní stavy z pohledu zakázky

Aktivní stav zakázky je tedy možno definovat jako dobu od začátku přípravy pracoviště na zpracování dané zakázky (seřízení) do okamžiku dokončení technologických operací včetně kontroly kvality a předání zakázky na další pracoviště nebo do skladu hotových výrobků. To v sobě zahrnuje nejen technologické a netechnologické operace, ale také případná přerušení, ke kterým během této doby dojde.

Pasivní stav zakázky je představován dobou, po kterou zakázka čeká ve frontě před pracovištěm na své opracování. Opět jsou zde zahrnuta veškerá přerušení, ke kterým během této doby dojde.



Obr. 4-15 Schéma průběhu zakázky výrobou – pasivní a aktivní stavy zakázky

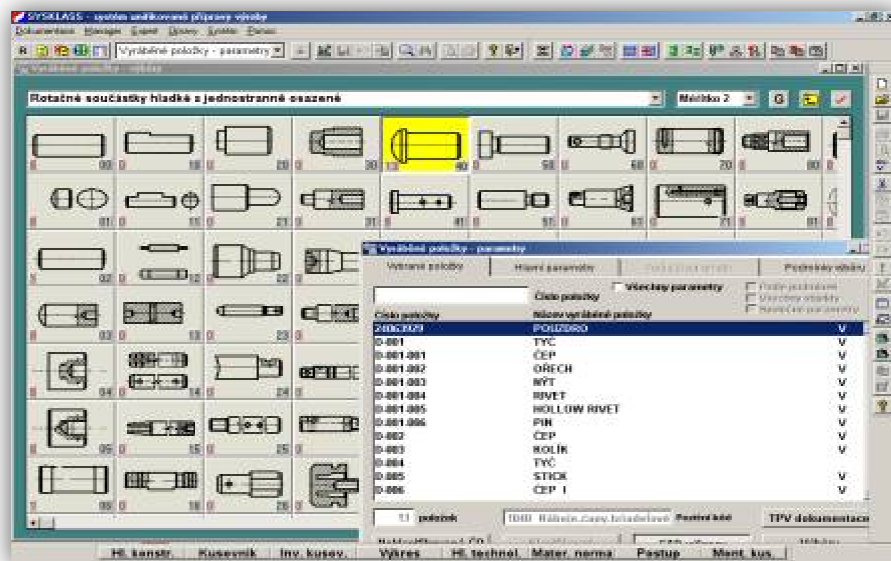
4.4.1 Aktivní stav zakázky

Dobu trvání aktivního stavu zakázky na jednotlivých pracovištích lze s určitou mírou přesnosti stanovit. Vychází se při tom především z definovaného technologického postupu, kde by měly být časově ohodnoceny jak časy technologických operací na kus, tak i časy potřebné k nastavení pracoviště a seřízení stroje. Dalším působícím činitelem je počet kusů.

Přesto se, jak již bylo diskutováno dříve, nemusí předepsané časy shodovat s reálnou výrobou. Důvodem jsou například:

- nepřesně stanovené (často odhadované) technologické časy,
- podobnost po sobě jdoucích zakázek – redukce časů seřízení,
- přerušení výroby.

Stanovení technologických časů lze zlepšit například vybudováním databáze ověřených typových výrobních postupů pro základní druhy výrobků a operací. Z nich je pak možno vycházet pro stanovování časové náročnosti výroby nových podobných výrobků. V dnešní době je pro řešení tohoto problému možno nalézt různá softwarová řešení, která mohou významně pomoci nejen se zlepšením úrovně kvality stanovování časů, ale také se zrychlením práce technických pracovníků. Příkladem může být například software Sysklass.



Obr. 4-16 Ukázka programu Sysclass [<http://www.sysclass.cz>]

Určení vlivu dalších uvedených působících faktorů je však problematické. Pokud si budou na daném pracovišti po sobě jdoucí zakázky technologicky podobné, může být seřízení stroje kratší například z toho důvodu, že některé nástroje jsou již sestavené nebo jsou již dosaženy potřebné výrobní parametry. To však není možno ve fázi stanovování přípravných časů uvažovat, protože neznáme dopředu návaznost zakázek. Proto jsou obvykle předepisovány přípravné časy rovnající se kompletnímu seřízení a nastavení pracoviště. Pak ovšem nelze očekávat, že nebude docházet k odchýlkám.

Pokud by byl znám výrobní plán (návaznost zpracování zakázek pro jednotlivá pracoviště), bylo by možno poměrně přesně korigovat přípravné časy dle podobnosti navazujících zakázek. Avšak stačí, aby došlo k drobné změně v pořadí zpracování, a předepsané časy opět nebudou odpovídat realitě.

Řešení se nabízí v podobě analýzy parametrů nastavení. Jestliže jsou konkrétní hodnoty parametrů provedení výrobní operace na dané zakázce běžné pro velké množství zakázek, můžeme předpokládat, že s určitou pravděpodobností bude mít předchozí nebo následující zakázka podobné nastavení. To znamená, že některé prvky nebude nutno měnit, a přípravné časy tak budou kratší. Takovým příkladem mohou být standardně používané a seřízené nástroje, které se nerozebírají, a proto je není nutno následně ani sestavovat, či běžně používaná prášková barva, se kterou se lakuje větší procento zakázek – nebude nutno vyměňovat barvu, čistit systém apod.

U parametrů, které jsou méně obvyklé, je potřeba uvažovat plný čas nutný pro jejich přípravu. Pro obvyklé parametry je možno čas jejich přípravy redukovat ekvivalentně k jejich opakování.

Pro každý typ operace je vhodné definovat tzv. „klíčové prvky“. Ty určují technologickou podobnost jednotlivých výrobků (zakázek) a působí na délku seřizovacích časů. Jejich odlišnost vyvolává nutnost změny nastavení pracoviště při přechodu ze zpracování jedné zakázky na druhou. Návrh možných klíčových prvků pro některé technologie uvádí následující tabulka:

technologie	klíčový prvek 1	klíčový prvek 2
lisování	druh materiálu	tloušťka plechu
ohraňování	druh materiálu	tloušťka plechu
vrtání	druh materiálu	průměr díry
práškové lakování	druh barvy	

Tab. 4-3 Příklady klíčových prvků nastavení pro vybrané výrobní technologie

Nejsložitějším problémem může být určení objemu času přerušení, která mohou postihnout jednotlivé zakázky. Poruchy, problémy s kvalitou či organizační prostoje je těžké dopředu přesně odhadnout. Jediným způsobem je analýza historických dat a stanovení koeficientu, kterým se čisté časy korigují.

Vedle neplánovaných či obtížně stanovitelných přerušení uvedených v předchozím odstavci však existuje jeden druh přerušení, který je možné určit – plánované prostoje. U přesně sestaveného operativního plánu výroby je snadné predikovat, u které zakázky dojde během jejího zpracování k přerušení z důvodu přestávky na oběd, konce směny, víkendu apod.

Avšak v praxi opět dochází k odchýlkám. I nepatrná odchylka může způsobit prodloužení času zpracování i o několik hodin. Jestliže se například nestihne dokončit výrobní operace do konce směny (byť o několik minut), bude zakázka dokončena třeba až další den (v případě jednosměnného provozu).

Popisovaný model však s operativním plánem výroby nepracuje, není tedy možno určit, u které zakázky dojde během jejího zpracování k přerušení z důvodu plánovaného prostoje. To je ale problém, protože tato přerušení se vyskytují opakovaně a trvají obvykle poměrně dlouho (například jednosměnný provoz představuje každý den přerušení na 16 hodin). Z tohoto důvodu není možno vliv plánovaných přerušení výroby zanedbat.

Autor práce se rozhodl řešit problém navýšením stanovené čisté doby trvání aktivního stavu zakázky na daném pracovišti (nezahrnuje prostoje) o průměrnou přírážku plánovaných prostojů a dále také o přírážku neplánovaných prostojů. Takto není nutno řešit problém, kterou zakázku přerušení postihne, protože je s ní počítáno v určitém poměru u každé zakázky. Ačkoli tento způsob samozřejmě není tak přesný jako v případě sestavování operativního plánu, je více odolný vůči odchýlkám.

Výsledkem navýšení čistého času trvání aktivního stavu o průměrnou přírážku plánovaných a neplánovaných přerušení je pak tzv. „průměrná doba trvání aktivního stavu zakázky na dané operaci výrobního procesu“. Ta bude dále označována jako MASD (Mean Active State Duration – střední doba trvání aktivního stavu) a představuje čistý čas aktivního stavu navýšený o přírážku prostojů. Tuto proměnnou by bylo možno označit jako průběžnou dobu výroby na dané operaci pro uvažovanou zakázku.

Výpočet průměrné doby trvání aktivního stavu pracuje se třemi základními parametry:

- x ... plánovaný aktivní čas zakázky na pracovišti (bez přerušení),
- y ... plánovaná doba, kdy je pracoviště v činnosti = aktivní stav pracoviště,
- z ... plánovaná doba přerušení činnosti pracoviště = pasivní stav pracoviště.

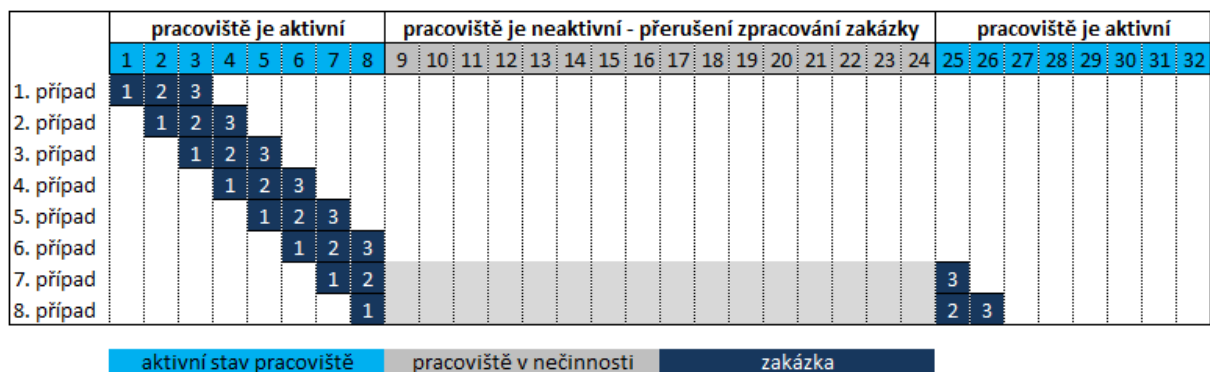
Vychází se z předpokladu, že zpracování zakázky na daném pracovišti trvá určitou dobu x . Tento čas začíná vyzvednutím zakázky z fronty (příprava pracoviště) a končí předáním zpracované zakázky na další pracoviště (do fronty). Tento čas by měl vycházet z předepsaného technologického postupu.

V závislosti na okamžiku, kdy se začne se zpracováním zakázky (přechod zakázky do aktivního stavu), a době trvání zpracování zakázky x pak mohou nastat dva stavy:

1. zakázka se stihne zpracovat mezi dvěma přerušeními;
2. zpracování zakázky bude přerušeno.

V případě, že nedojde k přerušení, mělo by zpracování zakázky trvat předepsanou dobu x . Jestliže k přerušení dojde, navýší se doba zpracování o dobu z , kdy je pracoviště v nečinnosti. Je tedy zřejmé, že zpracování bude v takovém případě trvat $x + z$ časových jednotek.

Otázkou však zůstává, v kolika procentech případů může nastat první varianta bez přerušení a v kolika případech naopak je nutno s přerušením počítat. Východiskem pro stanovení tohoto poměru je následující obrázek (Obr. 4-17). Ukazuje příklad, ve kterém má být na pracovišti provedeno zpracování zakázky trvajícím tři časové jednotky (x). Pracoviště je každý den v provozu 8 časových jednotek (y) a naopak nepracuje 16 časových jednotek (z). Cílem je zjistit, kolik zakázek bude postiženo přerušením (z) a jak je tedy nutno průměrně navýšit stanovený aktivní čas zakázky (bez přerušení).



Obr. 4-17 Skutečná doba trvání výrobní operace – možné varianty

Z obrázku je jasně patrné, že zakázka může na daném pracovišti přejít do aktivního stavu celkem v osmi časových okamžicích (počet možných začátků zpracování se rovná počtu časových jednotek, kdy je pracoviště aktivní). V případě začátku zpracování od první až do šesté časové jednotky se stihne dokončení zakázky bez přerušení. Pokud však zakázka přejde do aktivního stavu až v okamžiku sedm nebo osm, zpracování zakázky bude přerušeno na dobu z a k dokončení dojde až v čase 25 respektive 26.

Z toho vyplývá, že v šesti případech z celkových osmi je čas zpracování zakázky (doba trvání aktivního stavu) předepsaných x časových jednotek. Ve zbývajících dvou případech bude čas roven $x + z$.

Určení počtu zakázek zpracovaných s přerušením a počtu zakázek zpracovaných bez přerušení uvedené na popsaném praktickém příkladu lze zobecnit:

$$\text{počet zakázek zpracovaných bez přerušení} = y - x + 1 \quad (28)$$

Po dosazení pro uvedený vzorový příklad nám vyjde:

$$\text{počet zakázek zpracovaných bez přerušení} = 6$$

Ve zbylých případech bude zpracování zakázky přerušeno a tedy:

$$\text{počet zakázek zpracovaných s přerušením} = y - (y - x + 1) \quad (29)$$

Po dosazení opět dostaneme dříve uvedenou hodnotu vyplývající z obrázku:

$$\text{počet zakázek zpracovaných s přerušením} = 2$$

Pro určení průměrné doby trvání aktivního stavu zakázky s přírůžkou přerušení (MASD) je potřeba vypočítat vážený průměr, kdy v čitateli sčítáme součin počtu zakázek zpracovaných bez přerušení vynásobený dobou zpracování bez přerušení x a součin počtu zakázek zpracovaných s přerušením násobený prodlouženou dobou zpracování $x + z$. Součet v čitateli je pak vydělen celkovým počtem možných případů (začátků zpracování):

$$MASD = \frac{(y - x + 1) \times x + [y - (y - x + 1)] \times (x + z)}{y} \text{ [č.j.]} \quad (30)$$

Vztah lze zjednodušit roznásobením a odečtením některých členů do výsledné podoby:

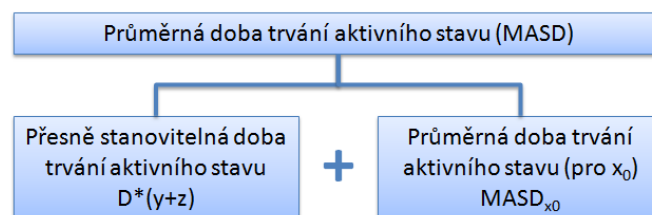
$$MASD = \frac{yx + xz - z}{y} \text{ [č.j.]} \quad (31)$$

Uvedený vztah pro MASD byl odvozen pro případ, kdy bylo $x \leq y$. Je však potřeba prověřit jeho použitelnost i pro případy, kdy je $x > y$.

Pokud by nastala situace, kdy by bylo $x > y$, došlo by nevyhnutelně minimálně jednou k přerušení výroby v důsledku přestávky v činnosti pracoviště. Kolikrát by celkem došlo k jistému přerušení je možno snadno určit prostým vydělením:

$$D = \text{počet jistých přerušení výroby} = \frac{x}{y} \dots \text{ (celočíslný výsledek)} \quad (32)$$

Podíl vyjadřuje, kolikrát se vejde doba aktivní činnosti pracoviště do doby potřebné pro provedení požadované operace na zakázce. Počet jistých přerušení D je však pouze celočíselná část výsledku dělení (výsledek je oříznutý o desetinnou část). Zbylá desetinná část podílu vyjadřuje určitou pravděpodobnost, nikoli již však stoprocentní jistotu, že k přerušení dojde.



Obr. 4-18 Složky MASD pro $x > y$

Je možno říci, že D -krát dojde k nevyhnutelnému přerušení zpracování, které znamená vždy navýšení o další dobu odstávky z . Takto je možno určit část doby trvání aktivního stavu zakázky, která je přesně stanovitelná:

$$\text{přesně stanovitelná doba trvání aktivního stavu} = D \times (y + z) \quad [\text{č.j.}] \quad (33)$$

Pro dokončení zpracování zakázky v tomto okamžiku (po odpracování výše uvedené přesně stanovené doby zpracování) zbývá ještě x_0 časových jednotek:

$$x_0 = x - D \times y \quad [\text{č.j.}] \quad (34)$$

Během času x_0 může dojít ještě k dalšímu přerušení na dobu z . Pro určení zbytku doby zpracování je možno využít dříve uvedený vztah (31) pro $MASD$, protože x_0 splňuje podmínku $x < y$:

$$MASD_{x_0} = \frac{yx_0 + x_0z - z}{y} \quad [\text{č.j.}], \quad \text{kde } x_0 = x - D \times y \quad (35)$$

Výsledný vztah pro výpočet průměrné přírážky přerušení pro případ $x > y$ je pak součtem přesně stanovitelné doby zpracování, tedy té, která je jistá, a zbytku doby zpracování, která vykazuje určitý pravděpodobnostní charakter:

$$MASD = D \times (y + z) + \frac{yx_0 + x_0z - z}{y} \quad [\text{č.j.}] \quad (36)$$

Zde je pro lepší vysvětlení uveden příklad výpočtu pro případ, kdy doba zpracování zakázky na pracovišti přesahuje dobu aktivního chodu pracoviště.

- $x = 15$ č.j.
- $y = 4$ č.j.
- $z = 2$ č.j.



Obr. 4-19 Skutečná doba trvání výrobní operace – možné varianty

První fází výpočtu je stanovení počtu jistých přerušení výroby D dle vztahu (32):

$$D = 3,75 \rightarrow \text{po odstranění desetinné části čísla} \rightarrow D = 3$$

Výsledek podílu je 3,75. Jak však bylo uvedeno, desetinná místa se ořezávají (nezaokrouhluje se), a D je tedy pouze 3. To znamená, že s jistotou dojde ke třem přerušením zpracování zakázky na dobu z v důsledku přestávky v činnosti pracoviště. To odpovídá uvedenému schématu. Ve třetím a čtvrtém případě však dojde ještě ke čtvrtému přerušení. K tomu se dostaneme přes výpočet x_0 :

$$x_0 = 3 \text{ č.j.}$$

x_0 splňuje podmínku $x < y$, a proto je možno použít základní vztah (31) resp. (35):

$$MASD_{x_0} = 4 \text{ č.j.}$$

Výsledná průměrná doba dle (36) bude:

$$MASD = 22 \text{ č.j.}$$

Výsledek 22 časových jednotek pro průměrnou dobu trvání aktivního stavu naprosto odpovídá tomu, co je možno vidět na obrázku. Z celkových čtyř možných variant, které mohou nastat, trvá ve dvou prvních případech zpracování zakázky 21 č.j. a v druhých dvou případech 23 č.j. Zprůměrováním těchto hodnot dostaneme přesně vypočtených 22 č.j.

Pokud bychom hodnoty ze zadání dosadili do vztahu odvozeného pro $MASD$, kdy je $x \leq y$, získali bychom stejný výsledek 22 č.j.

Po dosazení různých hodnot parametrů x , y a z do obou odvozených vzorců (pro $x \leq y$ i $x > y$) byly vždy získány stejné výsledky. Oba vzorce se tedy zdají být ekvivalentní a mělo by být možno používat pouze jednodušší tvar pro $x \leq y$. Tato hypotéza by však měla být prověřena v rámci fáze ověřování výsledků (kapitola 5).

$$MASD = \frac{yx + xz - z}{y} = D \times (y + z) + \frac{yx_0 + x_0z - z}{y}$$

Pozn.: Rastr časových jednotek pro výpočet je možno volit dle potřeby. Dá se však dokázat, že dosazení menších jednotek vede k přesnějšímu výsledku.

Aktivní a pasivní stav pracoviště

Ve vztazích bylo počítáno s dobami trvání aktivního a pasivního stavu pracoviště. Aktivní čas pracoviště je doba, po kterou může pracoviště vykonávat výrobní činnost, je tzv. v provozu. Naopak pasivní stav pracoviště znamená, že v daném čase pracoviště není schopno zpracovat žádnou zakázku.

Pozn.: Je potřeba rozlišovat stavy, kdy pracoviště nemůže provádět zpracování zakázky a kdy ho pouze fyzicky neprovádí. Za pasivní stav pracoviště není považována situace, kdy pracoviště může provádět výrobní operace, avšak žádná zakázka opracování nevyžaduje – fronta čekajících zakázek před pracovištěm je nulová.

Kromě toho musíme ovšem také zdůraznit, že zakázka může být aktivní navzdory aktuální pasivitě pracoviště. Zatímco například při poruše se dostává pracoviště do pasivního stavu, je na něm právě zpracovávaná zakázka stále ve stavu aktivním, protože se pracoviště zabývá jejím zpracováním, i když je aktuálně mimo provoz.

Aktivní čas pracoviště v rámci jednoho dne získáme odečtením všech plánovaných i neplánovaných přerušení výroby od 24 hodinového fondu.

Mezi plánovaná přerušení výroby je možno počítat:

- směny, kdy pracoviště plánovaně nepracuje (směnnost, plánované odstávky),
- přestávky na odpočinek a na jídlo,
- zahájení směny,
- zakončení směny (úklid pracoviště – 5S, preventivní údržba - TPM),
- kontrola bezpečnostních prvků strojů,
- a všechna případná další přerušení, během kterých pracoviště nemohou vykonávat výrobní činnost.

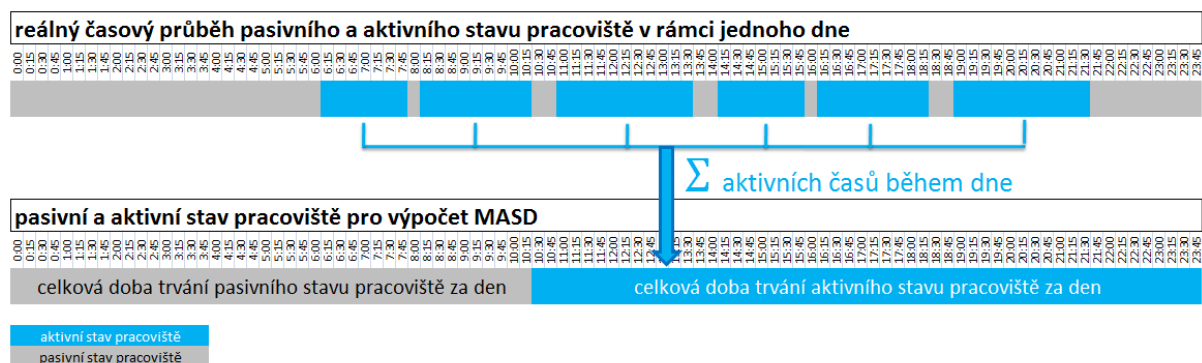
Mezi neplánovaná přerušení výroby se dají zařadit:

- poruchy,
- organizační prostoje.

Tato všechna přerušení nám ukrájí z 24 hodin, které máme každý den k dispozici, cenný čas využitelný pro zpracování zakázek. Čím větší je objem času, kdy se pracoviště nachází v pasivním stavu, tím delší bude průběžná doba výroby u všech zakázek na tomto pracovišti – bude tedy delší MASD.

Plánovaná přerušení výroby

Objem plánovaných prostoje během dne není obtížné určit, protože jsou obvykle dobře známy. Při výpočtu MASD pro každou zakázku není potřeba v rámci dne uvažovat plánovaná přerušení izolovaně, ale je možno je sečíst dohromady. Při výpočtu MASD se pak tedy pracuje se sumou všech aktivních časů pracoviště za den (proměnná y) a sumou všech pasivních stavů pracoviště za den (proměnná z). Výsledek bude totožný, jako kdyby se počítalo každé přerušení zvlášť. Názorně to vysvětluje následující obrázek:



Obr. 4-20 Sloučení všech přerušení činnosti pracoviště během dne do souhrnné položky pasivního stavu

Pokud počítáme průběžnou dobu výroby v pracovních dnech, není nutné při definování pasivního stavu pracoviště zohledňovat nepracovní víkendy. Je možno je jednoduše zanedbat, jen je potřeba přihlídnout k tomu, že ve výsledku MASD nejsou zahrnuty. Pokud zákazník požaduje informaci o přesném datu dodání (ne době dodání), je potřeba víkendy připočítat, nebo o ně v poměru navýšit proměnnou z a zahrnout je do výpočtu.

Neplánovaná přerušení výroby

Výroba však bohužel nebývá přerušována pouze plánovanými prostoji. Významným faktorem, který je nutno zvažovat, jsou také poruchy. Vzhledem k finančním možnostem malých podniků nelze očekávat, že bude výrobní systém vybaven vždy nejnovějšími stroji, od

kterých lze očekávat vysokou míru spolehlivosti. Poruchy jsou zkrátka běžnou součástí každodenního života nejen malých podniků a je potřeba s nimi počítat. Velkým problémem je definování jejich objemu. Výrobní praxe v malých podnicích obvykle nedisponuje aparátem pro analýzu prostojů souvisejících s poruchami.

V literatuře je možné se setkat s pojmy MTBF (Mean Time Between Failures = průměrný čas mezi poruchami) a MTTR (Mean Time To Repair = průměrný čas opravy). MTBF představuje průměrný časový interval mezi dvěma poruchami. Pro výpočet se používá tento vztah ([9], s. 271):

$$MTBF = \frac{\text{doba provozu pracoviště [hod.]} }{\text{počet poruch}} \quad (37)$$

Výpočet průměrného času opravy je podíl součtu dob jednotlivých oprav podělený počtem oprav ([21], s. 38).

$$MTTR = \frac{\sum \text{časů oprav [hod.]} }{\text{počet oprav}} \quad (38)$$

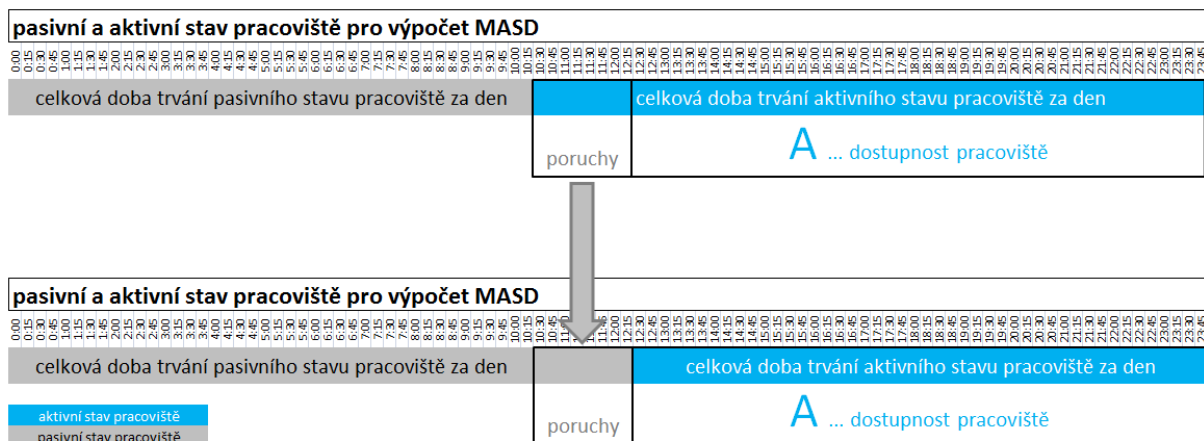
Z těchto dvou veličin je možno dopočítat tzv. dostupnost pracoviště, v anglické literatuře označovanou A – Availability ([22], s. 399), ([21], s. 42):

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (39)$$

Výsledkem je procento využitelnosti pracoviště. Samozřejmě se jedná o maximální možnou hodnotu, protože nejsou započítány žádné další typy prostojů, v úvahu jsou brány jen poruchy.

V literatuře bývá vypovídací hodnota ukazatelů MTBF a MTTR některými autory (například [27], s. 398) snižována (vliv extrémních hodnot, rozptylu hodnot atd.), avšak vzhledem k faktu, že model řízení zpracování zakázek popisovaný v této práci se nesnaží o optimalizaci, ale pouze o racionalizaci, je využití těchto i pro obyčejného člověka jednoduše srozumitelných ukazatelů postačující. Zjednodušení se dopouštíme v této práci i u jiných výpočtů. Cílem této práce je získat především jednoduchý, snadno srozumitelný a ovladatelný model, než klást důraz na naprostou přesnost dat, které již z definice kusové výroby není možno dosáhnout.

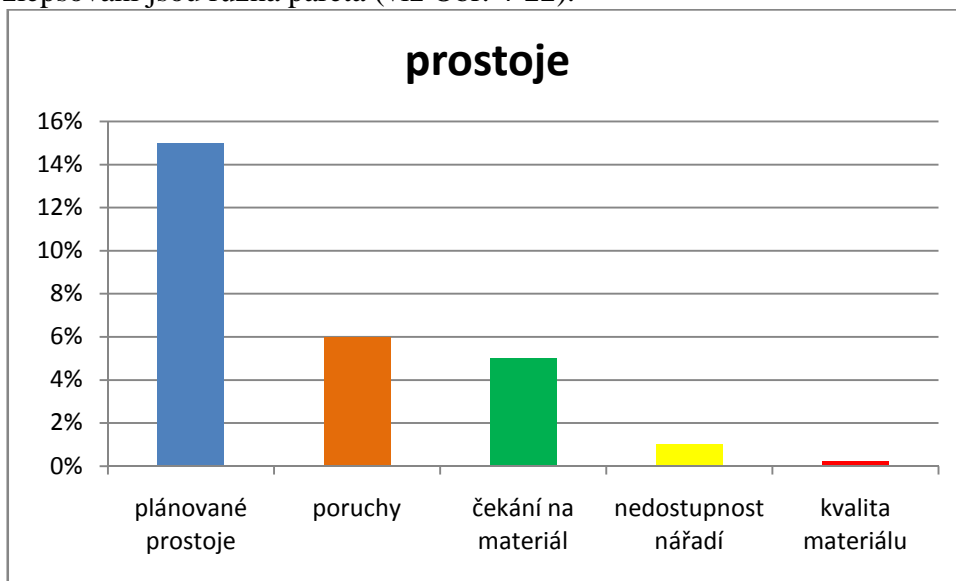
Dostupností pracoviště A je možno dále redukovat aktivní čas pracoviště, který byl získán po odečtení plánovaných prostojů.



Obr. 4-21 Redukce času aktivního stavu pracoviště dostupností A (zohlednění poruch)

Stejně tak jako byly počítány prostoje způsobené poruchami, je možno postupovat i pro stanovení objemu dalších možných prostojů, jakými jsou například organizační prostoje. Výsledkem výpočtu by byl pak další koeficient, který by dále redukoval dostupnost pracoviště.

Samozřejmě by bylo možno sčítat všechny typy neplánovaných přerušení výroby dohromady a sledovat je jako celek. Tento přístup však neodpovídá současnému trendu rozkrývání příčin problémů a plýtvání. Z tohoto důvodu je vhodné sledovat každý typ přerušení zvlášť, aby pak byla pozornost soustředěna na řešení hlavních problémů. Vhodným nástrojem pro analýzu a následné zlepšování jsou různá pareta (viz Obr. 4-22).



Obr. 4-22 Příklad pareta příčin prostojů pracoviště

Shrnutí

Aktivní stav pracoviště by měl být pro model řízení zpracování zakázek popisovaný v této práci určen tak, že od 24 hodin, které máme k dispozici každý den, se nejprve odečtou plánované prostoje (čas pasivního stavu pracoviště). Tím získáme čas aktivního stavu pracoviště při zohlednění plánovaných prostojů. Ten je nutné dále redukovat o neplánovaná přerušení výroby, především z důvodu poruch výrobního zařízení. K výpočtu je možno použít vzorce pro stanovení MTBF a MTTR, ze kterých se dá následně stanovit dostupnost pracoviště. Po odečtení jak plánovaných, tak i neplánovaných prostojů získáme čas, po který je pracoviště během dne v aktivním stavu. Zbytek do 24 hodin je pak samozřejmě doba trvání

pasivního stavu pracoviště. Tyto dvě hodnoty se následně dosazují do vztahu pro výpočet průměrné doby trvání aktivního stavu zakázky na dané operaci výrobního procesu – MASD.

4.4.2 Pasivní stav zakázky

Vraťme se nyní od stavu pracoviště zpět k určování stavu zakázky. Zakázka se nachází v pasivním stavu, pokud čeká ve frontě před pracovištěm na své opracování. K tomu dochází vlivem časové nerovnoměrnosti požadavků na využití výrobních kapacit, přerušovanosti a nízké synchronizovanosti kusové strojírenské výroby. Zatímco ve vysoce opakované výrobě je možno časy čekání výrobků na opracování výrazně redukovat, v neopakované výrobě to lze jen obtížně. Pomoci by měly optimalizované výrobní plány, které však, jak již bylo několikrát zmíněno, jen zřídka kdy odpovídají realitě.

Objem časů pasivního stavu zakázky obvykle silně převyšuje časy aktivního stavu zakázky. Mají tedy zásadní vliv nejen na průběžnou dobu výroby zakázky, ale potažmo také na velmi důležitý objem zásob rozpracované výroby.

Aby mohl popisovaný model řízení zakázek pracovat, potřebuje mít definovanou průběžnou dobu výroby pro každou zakázku. Průběžná doba výroby je v této práci brána jako součet pasivních a aktivních stavů zakázky na jednotlivých výrobních operacích, kterými zakázka musí projít. Způsob stanovení doby trvání aktivního stavu zakázky byl již popsán, nyní je potřeba nalézt způsob, jak určit dobu čekání zakázky před jednotlivými pracovišti.

V teorii se pro řešení problému s čekáním na obsluhu používá tzv. teorie front, nebo též teorie hromadné obsluhy. Podstata byla popsána v kapitole 1.5.3.

Pokud bychom chtěli použít pro řešení problému teorii front, narazíme záhy na problém. V literatuře jsou popsány některé základní modely, na které je možno uplatnit analytický způsob řešení. Tyto modely však zcela nepostihují problém řešený v této práci. Hlavní komplikací je především uvažované řízení zpracování požadavků na základě priorit (řád fronty). Běžně jsou v literatuře uváděny postupy pro výpočty, kdy se logika vybírání požadavků z fronty řídí systémem FIFO. Tento způsob ale pro zde řešený model řízení zakázek nevyhovuje ve všech případech. Pokud u některé zakázky dojde ke zpoždění, není na následujícím pracovišti zařazena na konec fronty (jak požaduje FIFO), ale může být upřednostněna, což však zároveň neznamená, že bude zařazena vždy přímo na první místo ve frontě (LIFO). Řešení pro případ výběru z fronty dle priorit (PRI) není jednoduché.

Model řízení zakázek navíc dynamicky mění chování pracovišť. Pokud jsou kapacity méně vytížené, jsou zakázky zpracovávány v pořadí daném zařazením zakázek do fronty dle priorit. V okamžiku přetížení se chování pracoviště změní, přestane být respektováno pořadí dané frontou a zakázky začnou být slučovány dle technologické podobnosti.

Způsob výběru z fronty a chování pracoviště v jednotlivých časových okamžicích je kvůli neustálé variabilitě prakticky nemožné určit. Je potřeba přihlídnout i k tomu, že v praxi většinou nejsou informace o typu pravděpodobnostního rozdělení, podle kterého se řídí intervaly mezi příchody požadavků do fronty nebo doba obsluhy. Tím pádem nejsme schopni určit analyticky jednoduše řešitelný model dle teorie front.

Druhým způsobem řešení by byla simulace, která však pro podmínky malých podniků není příliš vhodná, především kvůli finanční náročnosti softwarových řešení a nárokům na pracovníky, kteří s ním musí pracovat. Pokud bychom prováděli výpočty na základě simulace, vraceli bychom se zpět k centralizovanému způsobu řízení.

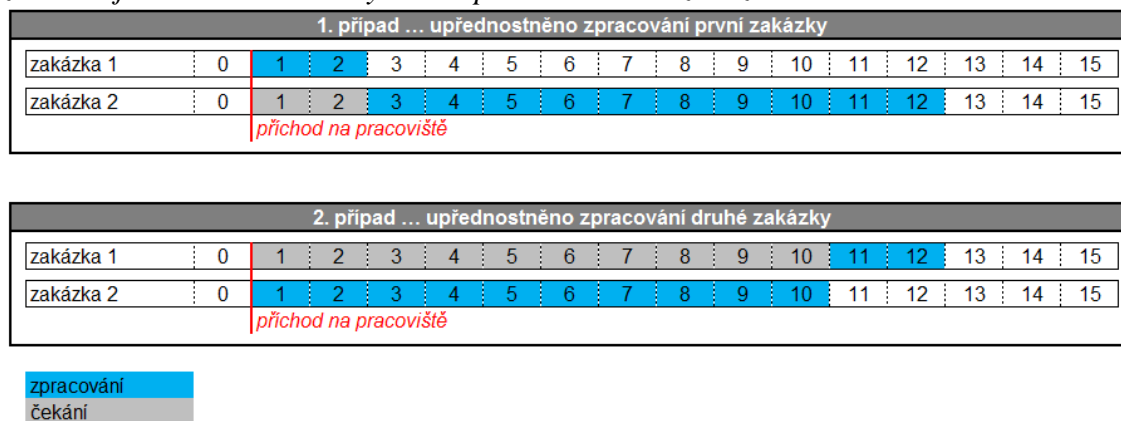
V praxi je možno se setkat s odhady doby čekání vztaženými k době opracování na daném pracovišti. Bývá definován koeficient, kterým se vynásobí čas potřebný pro provedení

výrobní operace, a výsledkem je předpokládaná doba čekání ve frontě před pracovištěm. Je to velice jednoduchý způsob, který však může vést k dosti zavádějícím výsledkům. Ukažme to na názorném příkladu:

Na pracovišti mají být zpracovány dvě zakázky. Čas zpracování první z nich je stanoven na dvě časové jednotky. Zpracování druhé zakázky má trvat deset časových jednotek. Při výpočtu doby čekání pomocí koeficientu by vyšlo čekání u první zakázky pětkrát menší než u druhé zakázky.

Nyní si představme, že zakázky dorazí na pracoviště ve stejný čas a rozhodneme se nejprve zpracovat první zakázku, což bude trvat dvě časové jednotky. Po dokončení výrobní operace na první zakázce je možno přejít ke zpracování druhé zakázky. Ta čekala ve frontě před pracovištěm fakticky pouze dvě časové jednotky.

Pokud upřednostníme zpracování nejprve druhé zakázky, bude první zakázka čekat celých deset časových jednotek, než bude moci být zahájeno její zpracování. To je v přímém rozporu s předpokladem, ke kterému se dospělo pomocí výpočtu zohledňujícího dobu trvání výrobní operace na dané zakázce.



Obr. 4-23 Výpočet čekání zakázek ve frontě na opravování

Z uvedeného příkladu vyplývá, že pro výpočet čekání není vhodné vycházet z času opracování dané zakázky. Rozhodující jsou naopak všechny ostatní zakázky.

Žádný z uvedených způsobů (analytický výpočet pomocí teorie front, simulace, výpočet přes dobu trvání opracování) nepředstavuje vhodný způsob určení doby čekání požadavku ve frontě na opravování.

Zdá se tedy, že nejvhodnější je určit průměrnou dobu čekání na základě historických dat. Přesto je však vhodné stanovit určité početní východisko. Vraťme se zpět k teorii hromadné obsluhy a pokusme se z ní získat alespoň rámcový způsob, jak dobu čekání ve frontě vypočítat, i když se nedopracujeme k přesnému konkrétnímu vztahu popisujícímu beze zbytku chování řešeného modelu.

Doba čekání ve frontě je zásadně určena kapacitním vytížením pracoviště, které představuje dle slovníku teorie hromadné obsluhy tzv. „kanál obsluhy“. Je zřejmé, že fronta před pracovištěm, které je kapacitně přetížené (velké množství požadavků na obsluhu v poměru ke kapacitě), bude delší než před pracovištěm, na které přichází požadavky pouze sporadicky, a proto je možné je obsloužit okamžitě bez čekání.

Teorie front pracuje s následujícími dvěma základními parametry:

λ ... střední intenzita vstupu (průměrný počet jednotek, které vstoupí do systému během dané časové jednotky)

μ ... *střední intenzita výstupu* (průměrný počet obslužených jednotek během dané časové jednotky)

Pokud dáme tyto dvě hodnoty do poměru, získáme tzv. *střední intenzitu provozu* η (viz vztah (6) uvedený v kapitole 1.5.3).

Střední intenzita provozu porovnává objem požadavků vstupujících do fronty kanálu obsluhy k objemu požadavků vystupujících z kanálu obsluhy. Pokud je poměr větší než jedna, kanál obsluhy nestíhá zpracovávat přicházející požadavky, délka fronty začne narůstat a pracoviště se chová jako trychtýř, který má na vstupu větší průměr než na výstupu. Naopak hodnota $\eta < 1$ znamená, že se fronta před pracovištěm bude zkracovat. Protože chování modelu je stochastické, hodnota η se neustále mění, což odpovídá reálné změně délky fronty čekajících požadavků, které je možno ve výrobě pozorovat.

Modely hromadné obsluhy umožňují získávat různé charakteristiky, pro potřeby této práce je však stěžejní střední doba, kterou jednotky stráví ve frontě. Tu je možno pro jednoduchý model řídicí se exponenciálním rozdělením, s řádem fronty FIFO a jedním kanálem obsluhy (M/M/1/ ∞ / ∞ /FIFO) vyjádřit vztahem (10).

Protože je exponenciální rozdělení považováno za nejběžnější, je možno pro prvotní přibližné stanovení hodnoty doby čekání zakázky ve frontě před pracovištěm vycházet z uvedeného vztahu. Je však potřeba brát v úvahu, že s velkou pravděpodobností nebude dodržen výběr z fronty dle FIFO. Proto musí být tato výchozí hodnota dále korigována nejlépe podle historických dat.

Uvedený vztah byl zvolen pro svou jednoduchost. Hledání vztahu, který by přesně popisoval chování kusové výroby s mnoha odchylkami, by bylo složité, pokud vůbec možné. Problém by činilo určení pravděpodobnostního rozdělení, podle kterého se řídí příchody požadavků do systému a doba zpracování požadavku kanálem obsluhy, a následné stanovení výpočtového vztahu. Prioritu získává v uvažovaném modelu řízení zpracování zakázek vždy jednoduchost řešení před přesností. Sofistikované, avšak složité postupy nemohou v situaci panující v kusové výrobě přinést nikdy požadované optimální výstupy.

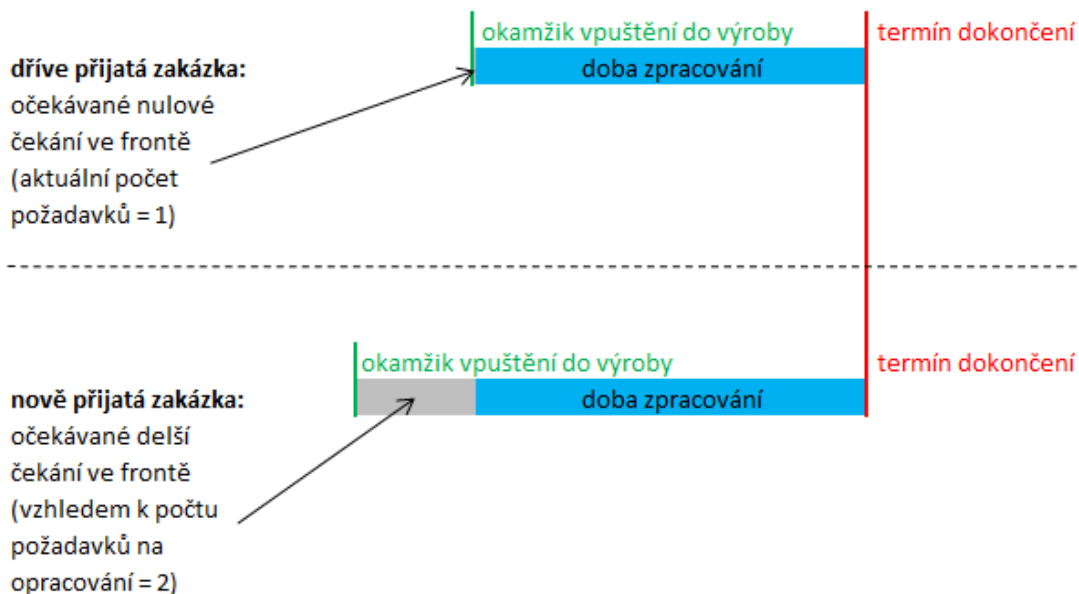
Jestliže máme vztah pro prvotní výpočet, je potřeba definovat, jak získat hodnoty parametrů - konkrétně střední intenzitu vstupu a výstupu.

V zakázkové kusové výrobě je specifická situace, protože v daném okamžiku nejsou známy všechny zakázky, které bude potřeba ve zvoleném plánovacím období zpracovat. Objednávky od zákazníků přicházejí postupně v průběhu času a požadavky na dobu dodání se liší. Jinak řečeno neplatí, že nový požadavek, který přijde později, má být zákazníkovi také dodán později než aktuálně známé dříve přijaté požadavky. To může způsobovat pro výpočet problém. Pro vysvětlení uveďme příklad.

Aktuálně je v daném okamžiku známa pouze jediná zakázka požadující zpracování na určitém pracovišti. Vzhledem k tomu, že obsluha není požadována pro více požadavků zároveň, můžeme dobu čekání ve frontě považovat za nulovou. Jestliže se do vztahu pro dobu čekání požadavku ve frontě zadá aktuálně známý počet požadavků, vyjde pro danou zakázku určitá doba čekání.

Jestliže pak přijde nová zakázka se stejným procesem zpracování, pro kterou je také potřeba vypočítat dobu čekání ve frontě, bude logicky navýšena hodnota parametru λ , a dojde tak při výpočtu k navýšení doby čekání pro danou zakázku (protože obsluhu již požadují dvě zakázky – původní a nově přichodí). Jestliže uvažujeme stejný termín dokončení pro obě zakázky, dojdeme k paradoxnímu faktu, že nová zakázka by měla být vpuštěna do výroby ještě před dříve přijatou zakázkou – viz obrázek. To je samozřejmě

nelogické. V krajní situaci by to totiž znamenalo, že starší požadavky budou uvolňovány do výroby později než nově příchozí.



Obr. 4-24 Znárodnění termínu uvolnění do výroby pro dříve a nově přijatou zakázku

Z uvedeného příkladu vyplývá, že není možné počítat dobu čekání zakázky ve frontě před pracovištěm dle aktuálního stavu přijatých zakázek. Můžeme se totiž důvodně domnívat, že v daném okamžiku nejsou známy všechny požadavky na obsluhu pro dané plánovací období.

Řešením uvedeného problému je provádění výpočtu pomocí předpokládaného průměrného počtu požadavků na obsluhu za dané období. Uvažuje se tedy, že kromě již aktuálně známých požadavků přijde ještě určité množství dalších (v daný okamžik neznámých), které budou rovněž požadovat zpracování v daném období. Jedná se především o urgentní nebo výrobně nenáročnou objednávku.

K určení střední intenzity výstupu μ je možné se dostat přes průměrnou dobu zpracování jednoho požadavku. Jestliže stanovenou časovou jednotku podělíme průměrnou dobou potřebnou k obsluze jednoho požadavku, dostaneme počet požadavků, které průměrně opustí kanál obsluhy. Průměrná doba zpracování požadavku na daném pracovišti by měla být zjištěna z historických dat. Opět se nedá doporučit výpočet pouze na základě aktuálně dostupných dat pro následující plánovací období.

Na základě uvedeného vztahu pro výpočet průměrné doby čekání požadavku ve frontě a vysvětlení dosazení hodnot za jednotlivé parametry je možno stanovit výchozí hodnotu času pasivního stavu zakázky na jednotlivých pracovištích.

Tak jako při výpočtu doby trvání aktivního stavu zakázky i zde působí odstávky v provozu pracovišť (kanálů obsluhy) na prodlužování reálné doby trvání pasivního stavu zakázky. Pokud by byl provoz pracoviště nepřetržitý, bylo by možno určit pasivní stav pracoviště pouze dle výchozího vztahu. Přerušením výroby se však v běžném životě vyhnout nelze. Díky nim bude doba pasivního stavu zakázky v reálném čase delší.

Pro výpočet přírážek je možno opět použít metodiku uvedenou u výpočtu MASD. Zde by tedy výchozí hodnota vypočtená ze vztahu představovala PSD (Passive State Duration – dobu trvání pasivního stavu). Tu je, jak již bylo uvedeno, nutno následně korigovat dle historických dat. Výsledek pak vstoupí do vztahu pro výpočet průměrné přírážky plynoucí z přerušení

činnosti pracoviště. Po připočtení přírážky bychom dostali MPSD (Mean Passive State Duration – střední dobu trvání pasivního stavu).

$$MPSD = \frac{yx + xz - z}{y} \text{ [č.j.]} \quad (40)$$

V uvedených vztazích zůstává význam proměnných nezměněn oproti MASD s výjimkou parametru x . Za ten se místo doby trvání aktivního stavu zakázky dosazuje korigovaná PSD vypočtená dle vztahu pro průměrnou dobu čekání ve frontě.

Otázkou však je, zda je postačující pouze vypočítat dobu čekání a podle toho „pasivně“ plánovat průběžnou dobu výroby, nebo bychom se měli snažit o její aktivní řízení. Při časovém rozvrhování zakázek na pracoviště bývá někdy pozornost soustředěna na minimalizaci doby čekání pro všechny zakázky při současné snaze o dodržení požadovaných termínů. Je však účelné minimalizovat doby čekání u všech zakázek?

Jedním z hlavních problémů spojených se zásobami rozpracované výroby je množství vázaných aktiv. Samozřejmě existují i další problémy jako prostorové problémy s jejich uskladněním, nepřehlednost apod. Avšak hlavním problémem se zdá být vázanost finančních prostředků. Jednotlivé zakázky však v sobě neváží stejné objemy aktiv. Abychom snížili objem rozpracované výroby (ve finančním vyjádření), je vhodné se soustředit na zakázky s nejvyšší vázaností aktiv (především v nákladech na materiálové vstupy), protože redukcí jejich průběžné doby výroby jsme schopni dosáhnout největšího efektu.

V praxi je často uplatňován logicky opačný přístup. Nejsložitější zakázky s nejvyššími výrobními náklady bývají do výroby vpouštěny co nejdříve, protože se předpokládá, že jejich výroba bude náročná, a je potřeba se proto časově jistit. Naopak jednoduché zakázky jsou ve výrobním plánu umístěny až v okamžicích těsně před termínem dokončení. Samozřejmě i tento přístup k plánování má svá opodstatnění. Vzhledem k dodržování termínů se jeví tento způsob jako vhodnější. Čím je zakázka složitější (obvykle finančně náročnější), tím je větší pravděpodobnost nabrání zpoždění při průchodu přes větší počet výrobních operací. Naopak zakázka, která vyžaduje jednu či dvě jednoduché výrobní operace, většinou zpožděním tolik ohrožena není. Bohužel tento přístup negativně ovlivňuje objem rozpracovanosti ve finančním vyjádření, který je nejen pro malé podniky kritickým faktorem jejich fungování.

Vzhledem k tomu se autor práce rozhodl v popisovaném modelu řízení zakázek upřednostnit redukcí vázanosti aktiv v zásobách rozpracované výroby. Cestou k tomu by měla být redukce plánovaného průměrného času čekání (pasivní stav) pro nákladnější zakázky (dále též HCJ z angl. High Cost Job). Jinak řečeno, úmyslně bude plánována a zadána kratší než výchozí vypočtená průměrná doba čekání ve frontě MPSD. Díky tomu může zakázka při příchodu do fronty vykazovat větší prioritu oproti již čekajícím zakázkám a nemusí být tedy zařazena vždy až na konec fronty. Tím se redukuje jejich skutečná průběžná doba výroby a následně vázanost aktiv.

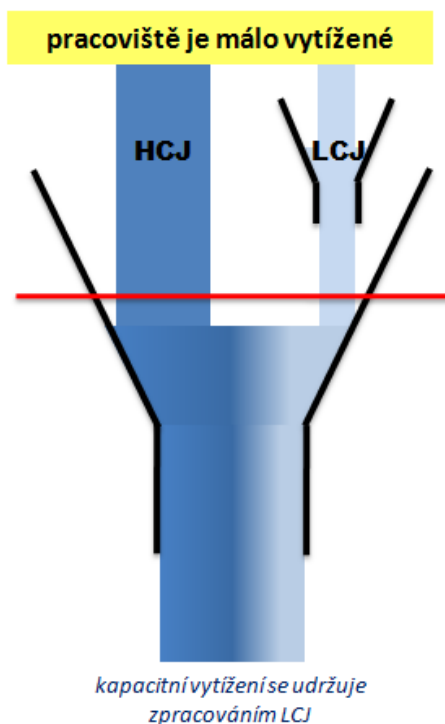
Naopak zakázky s nižšími (podprůměrnými) výrobními náklady (dále též LCJ z angl. Low Cost Job) mohou být uvolněny do výroby dříve s tím, že se předpokládá delší průběžná doba jejich výroby (plánováno delší čekání převyšující základní vypočtenou hodnotu MPSD). Tyto zakázky v sobě neváží významné množství finančních prostředků, proto by jejich „předčasné“ uvolnění do výroby nemělo způsobovat problémy. Jejich přítomnost ve výrobě však umožňuje využívat efektivně výrobní kapacity. Pokud je kapacita pracoviště přetížena, budou LCJ čekat vzhledem k jejich nižší prioritě. V okamžiku, kdy je pracoviště vytíženo málo,

představují tyto zakázky zásobník rozpracované výroby, ze kterého je možno okamžitě vzít další pracovní úkol, a neponechávat tak pracoviště nečinné.

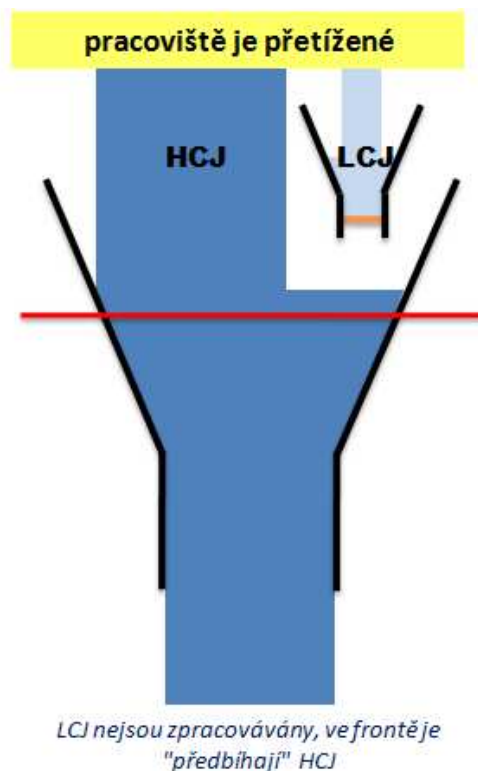
Mohlo by se zdát, že by bylo vhodnější LCJ do výroby vůbec nepouštět a zadat je do výroby až v okamžiku, kdy poklesne vytížení kapacity pracoviště pod stanovenou hodnotu. Zde je však problém, že takto je možno vytížit pracoviště pouze v případě, pokud představují první operaci v technologickém postupu zakázky. V jiných případech by trvalo určitou dobu, než by se daná zakázka od svého vyskladnění dostala až na pracoviště požadující doplnění volné výrobní kapacity. Nebylo by tak možno zaručit rychlou reakci. Každé kapacitně významné pracoviště by mělo mít u sebe zásobu méně nákladných zakázek, ze které je možno obratem doplňovat momentální poklesy kapacitního vytížení.

Je zde i druhý aspekt. Pokud úmyslně nebudou do výroby vpouštěny všechny zakázky, které mají být dle plánu uvolněny, aby se nezvýšil objem zásob rozpracované výroby, snižuje se uměle vnitřní tlak ve výrobním systému. Vytváří se tak neopodstatněná iluze o tom, že pracoviště nejsou kapacitně přetížena a vše probíhá, jak má. Tlak na výrobní kapacity by měl být citelný i přímo v provozu pro každého pracovníka. To odpovídá současnému trendu vizuálního managementu. Situace by měla být vždy snadno viditelná a analyzovatelná přímo v provozu, ne pouze v tabulkách ukrytých v počítači.

Symbolicky je možno fungování systému, který cíleně urychluje průchod zakázek s nadprůměrnými výrobními náklady (HCJ) a naopak přibrzdí nenáročné zakázky (LCJ), znázornit pomocí trychtýřů. Podobné zobrazení se používá i pro modelování fungování teorie omezení nebo principu metody BOA.



Obř. 4-25 Doplnění aktuálně nevyužitých výrobních kapacit pracoviště LCJ zakázkami



Obr. 4-26 Přetížené pracoviště – zpracování LCJ dočasně pozastaveno / omezeno

Z obrázků by se mohlo mylně zdát, že před pracovištěm se tvoří dvě oddělené fronty - fronta HCJ a LCJ. Tak tomu však fyzicky není. Fronta je pouze jedna, v níž jsou oba typy zakázek namíchané. Rozdíl mezi nimi je v tom, že LCJ mají cíleně zadány delší čas čekání ve frontě na obsluhu. Tím získávají nižší prioritu, což se týče pořadí zpracování oproti nákladnějším zakázkám, kde je naopak plánovaný čas čekání redukován. Díky nižší prioritě se posouvají ve frontě na poslední místa, zatímco HCJ se po příchodu do fronty řadí na její čelo. V okamžiku, kdy jsou všechny HCJ zpracovány, dostane se řada i na LCJ, které v daném okamžiku mohou vytížit volnou výrobní kapacitu. Takto je sníženo riziko, že pracoviště bude odstaveno, protože nemá co zpracovávat, a v následujícím okamžiku bude opět přetíženo vlivem výkyvů v přísunu zakázek na pracoviště.

Podobně se chová i metoda DBR (Drum Buffer Rope), která buduje před úzkým místem zásobník zakázek tak, aby mohlo kritické pracoviště nepřetržitě pracovat. Na rozdíl od DBR ale navrhovaný systém plní zásobník primárně zakázkami s nižšími výrobními náklady (LCJ).

Pokud by byly fronty pro HCJ a LCJ oddělené a kapacita pracoviště neustále přetížená, nedošlo by nikdy k otevření zásobníku s LCJ a tyto zakázky by nemohly být zpracovány. To však samozřejmě není žádoucí stav. Proto i LCJ zakázky se postupně propracují na čelo fronty a budou zpracovány i přes přítomnost HCJ. Postupem času, jak LCJ čekají ve frontě, totiž vzrůstá jejich priorita:

$$\text{priorita zpracování zakázky} = \text{plánovaný čas čekání} - \text{aktuální čas strávený ve frontě}$$

Vstoupí-li ve stejný okamžik HCJ a LCJ do fronty, bude automaticky HCJ předřazena před LCJ, protože má nižší plánovaný čas čekání a obě zakázky mají shodně nulový čas strávený ve frontě. Avšak pokud po určité době vstoupí do fronty další HCJ, může být zařazena až za již čekající LCJ, protože ta již má zvýšenou prioritu o čas strávený čekáním. Jinak řečeno,

zakázky, které v sobě váží menší objem oběžných prostředků, trpělivě čekají a jsou ve frontě „předbíhány“ HCJ až do okamžiku, kdy:

1. nejsou ve frontě žádné další HCJ a pracoviště potřebuje vytižít volnou kapacitu,
2. nebo jejich čas strávený čekáním ve frontě zvýší jejich prioritu nad ostatní HCJ.

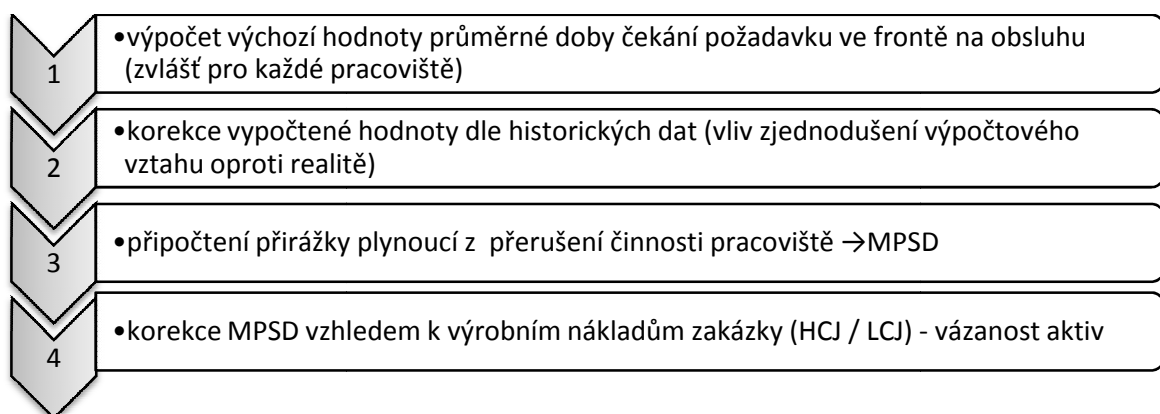
První případ (zakázka čeká ve frontě kratší než plánovaný čas) je důvod, proč je pro LCJ plánována delší doba čekání ve frontě. Druhý případ je naopak pojistka, aby nedošlo k uvíznutí méně nákladných zakázek ve frontě a ohrožení jejich termínu dokončení.

Shrnutí stanovení doby pasivního stavu zakázky

Určení doby, jakou bude čekat zakázka ve frontě před pracovištěm na své opracování, je náročnější než určení doby aktivního stavu zakázky, který vychází z technologického postupu. Při klasickém operativním plánování je tento údaj získán po zaplánování zakázky na volné místo ve výrobním plánu.

V popisovaném modelu je však pasivní stav zakázky určen jiným způsobem, který nevychází z konkrétního umístění zakázky v plánu (výrobní plán neexistuje, je pouze časový plán zpracování pro danou zakázku). Vychází se z průměrného počtu požadavků, které je nutno v plánovacím období na pracovišti zpracovat, a průměrného počtu požadavků, které je pracoviště schopno za uvažovaný čas zpracovat. Poměr musí být vždy menší než jedna, jinak by došlo k nekonečnému růstu délky fronty v důsledku celkově nedostačující kapacity obslužného kanálu. Pomocí vztahu pro výpočet doby čekání v případě jednoduchého modelu (M/M/1/∞/∞/FIFO) je určena výchozí hodnota PSD. Tu je vhodné dále korigovat dle historických dat. Protože výpočet nezahrnuje přerušení výroby, je potřeba stejně jako u výpočtu aktivního stavu zakázky navýšit čas o přírážku plánovaných prostojů. Výsledkem je hodnota MPSD. Protože ne všechny zakázky jsou stejně nákladné (HCJ / LCJ), je z důvodu snížení objemu aktiv vázaných v zásobách rozpracované výroby úmyslně snížena MPSD pro HCJ (rychlejší průchod výrobou) a naopak zvýšená MPSD pro LCJ, aby se tvořily zásobníky zakázek před kritickými pracovišti.

Výsledný postup výpočtu průměrné doby trvání pasivního stavu zakázky před daným pracovištěm je pak následující:



4.4.3 Stanovení okamžiku uvolnění zakázky do výroby

V předchozím výkladu byla vysvětlena podstata výpočtu průběžné doby výroby, která byla definována jako součet časů aktivních a pasivních stavů zakázky na jednotlivých pracovištích, kterými musí zakázky projít dle technologického postupu. To však stále neudává přesný

okamžik, kdy má být zakázka uvolněna do výroby, aby byl jednak dodržen požadovaný termín dodání a zároveň byly minimalizovány zásoby rozpracované výroby.

Běžně jsou v literatuře popisovány dva základní způsoby plánování zakázek:

- dopředné – s výrobou se začíná v co nejdříve možném termínu (zabezpečí nejlépe dodržení termínů);
- zpětné – výroba se plánuje od termínu dodání zpětně přes jednotlivé operace až k termínu uvolnění (minimalizace zásob rozpracované výroby).

Pozn.: Při klasickém plánování se teprve až po tomto zpracování zakázky do výrobního plánu dá určit průběžná doba výroby (vychází z přiřazení zpracování zakázky na volná místa ve výrobním plánu po jednotlivých pracovištích). V modelu řízení zakázek popisovaném v této práci se tradiční výrobní plán, který by zohledňoval vzájemné kolize zakázek na pracovištích, přerušení výroby atd., nesestavuje. Místo toho se určuje průměrný časový průběh „izolované“ zakázky výrobou. Kolize zakázek na pracovištích a přerušení jsou uvažovány v průměrných hodnotách zohledněných především při výpočtu pasivního stavu zakázky. Odhad průběžné doby výroby je znám bez vytváření složitého výrobního plánu. Vychází se z výrobního postupu a následného výpočtu MASD a MPSD.

Jestliže je tedy známa předpokládaná průběžná doba výroby zakázky, je nutno se, stejně jako v případě klasického plánování, rozhodnout, kdy zakázku uvolnit ze skladu do výroby. Opět se tedy musí udělat rozhodnutí mezi dopředným a zpětným plánováním. Odpověď na otázku, který způsob je výhodnější, není jednoznačná.

Důležitým faktorem, který je nutno při rozhodování zohlednit, je chování zákazníka. Na rozdíl od sériové výroby v automotive, kde zákazník požaduje dodání zboží přesně ve smluvený čas, tedy ne později, ale ani ne dříve, jsou zákazníci v kusové zakázkové výrobě mnohdy ochotni akceptovat dřívější dodání zboží. Jestliže v sériové výrobě má zákazník napočítané sklady a požaduje jejich doplnění přesně v okamžiku, kdy klesne na určitou hladinu, v kusové výrobě tomu tak není. Nejedná se o opakované dodávky stejného zboží, ale často spíše o uspokojení potřeby po ojedinelém zboží plynoucí z aktuálních požadavků. Zákazník si je vědom, že bude muset na dodání poptávaného zboží určitou dobu čekat. Nicméně dodání před smluveným termínem mu obvykle nečiní problémy, někdy to naopak uvítá. Samozřejmě to neplatí ve všech případech a určitě je možno najít jiné zákazníky, kteří požadují dodání zboží na čas například kvůli zafixovaným termínům dodávek (vykládková okna pro jednotlivé dodavatele). Podle chování zákazníků je tedy možno rozhodnout o plánovací strategii.

Jestliže zákazník akceptuje dodání zboží před termínem, zdá se být obecně vhodnější dopředné plánování, které jednak přispívá k zabezpečení nepřekročení termínu, jednak neovlivní zásoby hotových výrobků (po vyrobení je možno obratem dodat) a také umožní rychleji vygenerovat peníze.

Ne vždy však musí být pro tento případ vhodnější dopředné plánování a okamžité uvolnění do výroby. Pokud je aktuálně výroba přeplněná, pravděpodobně by přidání další zakázky způsobilo pouze další „ucpání“ systému a zakázka by stejně nebyla zpracovávána. V tom případě se jeví jako lepší použití zpětného plánování.

Také v případě nemožnosti dodat zboží dříve je vhodnější zpětné plánování. Předčasné vyrobení by způsobilo pouze navýšení doby skladování hotových výrobků ve skladu.

Autor se rozhodl v popisovaném modelu řízení zakázek volit zpětný způsob plánování, tedy od smlouveného termínu dodání zpět. Důvodem je minimalizace zásob rozpracované výroby a jednotný způsob plánování (nekombinovat dopředný a zpětný způsob).

Různé chování zákazníků (možnost dodání před termínem) navrhuje řešit pomocí uvedení příznaku u každé takové zakázky. To znamená, že pokud klesne vytížení výrobních kapacit pod definovanou úroveň, bude možno takto označené položky uvolnit do výroby ještě před plánovaným termínem a doplnit tím zásobníky rozpracované výroby. Uvolněné zakázky budou mít v takovém případě nižší prioritu zpracování.

Při tom je potřeba si uvědomit, že termín dodání zákazníkovi se ve většině případů neshoduje s plánovaným termínem, kdy má být dokončena výroba. Tohoto stavu se dosahuje pouze v ideálním případě při zavedení principu JIT. Běžně se však definuje určité bezpečnostní okno, které představuje časovou rezervu mezi termínem dokončení výroby (odvedení na sklad hotových výrobků) a termínem expedice k zákazníkovi. To je běžné i v mnohem spolehlivější a stabilnější velkosériové výrobě. Vždy totiž existuje riziko, že výroba nebude probíhat podle plánu (například vlivem poruch, problémů s kvalitou, problémů s dodávkami materiálu apod.). Čím bude výroba spolehlivější, tím menší může bezpečnostní okno být. I když už výrobky leží na skladu hotových výrobků, stále v sobě váží finanční prostředky. Proto je potřeba dobu skladování (bezpečnostní okno) minimalizovat.

Dříve, než je tedy možno provést zpětné plánování (odečtení průběžné doby výroby od termínu smlouveného se zákazníkem), je potřeba stanovit bezpečnostní okno, které určí termín dokončení pro výrobu. Tento interní termín dokončení je pro řízení výroby důležitější, od něj bude provedeno odečtení průběžné doby výroby.

Jak již bylo zmíněno, bezpečnostní okno se definuje z důvodu ochrany zákazníka (termínů) proti interním problémům, které mohou nastat. Otázkou je stanovení výchozí délky bezpečnostního okna. Ne všechny zakázky budou ohroženy stejně. Zakázka požadující provedení pouze jedné výrobní operace v sobě rozhodně neskrývá takové riziko jako ta, která prochází všemi typy operací, které firma nabízí.

Ke stanovení výchozí hodnoty je možno přistupovat různými způsoby, například:

- definovat pevně stanovené doby stejné pro všechny zakázky (například odhadem),
- položit ho rovno součtu časů uvedených v technologickém postupu, tzn. uvažovat čistou průběžnou dobu výroby bez jakýchkoli prostojů,
- vyjít z průměrného času odstranění poruchy,
- vyjít z maximálního času odstranění poruchy,
- vztáhnout ho ke konkrétnímu zákazníkovi (priority),
- stanovit jako procento z průběžné doby výroby.

První uvedený způsob stanovení bezpečnostního okna odhadem je sice jednoduchý, ale rozhodně ho nelze považovat za racionální. Pro správné opodstatněné nastavení je potřeba vždy vycházet z určitých dat.

Druhý způsob se staví k problému tak, že bezpečnostní okno v podstatě určuje nejpozdější možný okamžik uvolnění zakázky do výroby, kdy ještě může být dodržen termín v případě provedení celého výrobního procesu plynule bez přerušení. V závislosti na složitosti zakázek by však bylo okno buď neúměrně dlouhé a zvyšovalo by úroveň zásob, nebo by bylo naopak příliš krátké a ohrožovalo by zákaznický termín. Navíc tento způsob zcela přesně nereflektuje příčinu potřeby jistění se proti variabilitám ve výrobě stejně tak jako výpočet bezpečnostního

okna přes procento z průběžné doby výroby. Obvykle není problém v celém výrobním procesu, ale spíše na některé z operací.

To zohledňuje třetí uvedený způsob, který pro stanovení bezpečnostního okna vychází z průměrných dob trvání poruch na jednotlivých strojích. Kromě přetížení výrobních kapacit a špatné organizovanosti výroby jsou poruchy výrobního zařízení jedním ze zásadních faktorů způsobujících zpoždění zpracování zakázek oproti plánu. Je možno uvažovat, že v případě ohrožení termínu lze:

- konkrétní zakázku při zpracování upřednostnit (vyšší priorita ve frontě) → odstranění problému plynoucího z přetížení kapacit;
- dát důraz na organizační zajištění jejího zpracování → odstranění problému s nízkou úrovní organizace výroby.

Poruchu výrobního zařízení však pouhým zvýšením priority zakázky odstranit nelze. Odstranění fyzické bariéry vyžaduje čas. Ten by měl být zohledněn právě při stanovování bezpečnostního okna.

U každého typu výrobní operace (například lisování, ohraňování, soustružení, lakování apod.) by mělo být z historických dat definováno, jak dlouho průměrně trvá odstranění poruchy. Tento údaj byl potřebný již při definování doby trvání pasivního stavu pracoviště. Průměrný čas potřebný k odstranění poruchy je představován ukazatelem MTTR (Mean Time To Repair).

Pozn.: Pro některé operace je možno zajistit náhradní stroj, alternativní způsob výroby nebo kooperaci u jiného dodavatele. V tom případě může být místo dlouhé doby potřebné pro opravu uvažována tato záložní varianta.

Uvažujeme-li, že během zpracování zakázky běžně nedochází k poruše / odstávce na více než jednom pracovišti, můžeme pro výpočet délky bezpečnostního okna vycházet z nejdelší MTTR u jednotlivých pracovišť požadovaných technologickým postupem zakázky (viz Obr. 4-27). Takto bude zaručeno, že při běžné poruše bude stále ještě reálné dodržení smlouveného termínu.

Výpočet přes MTTR je vhodný pro zákazníky s běžnou prioritou. Pro nejvýznamnější (klíčové) zákazníky je vhodnější místo průměrné uvažovat maximální dobu poruchy, aby bylo zaručeno splnění termínu i v nejnepríznivějším případě. Eventuelně je možno ještě dále uvažovat, že může dojít během výroby k maximálním poruchám na dvou pracovištích, místo standardního jednoho, a nastavit tak bezpečnostní okno jako součet dvou nejdelších poruch.

zakázka 2013764			
pracoviště	průměrná porucha	maximální porucha	je pracoviště v TP?
soustruh	300 min.	560 min.	ne
frézka	850 min.	4 440 min.	ne
lis	1 440 min.	3 660 min.	ano
svářečka	60 min.	120 min.	ano
bruska	30 min.	30 min.	ne
lakovna	1 200 min.	3 840 min.	ano

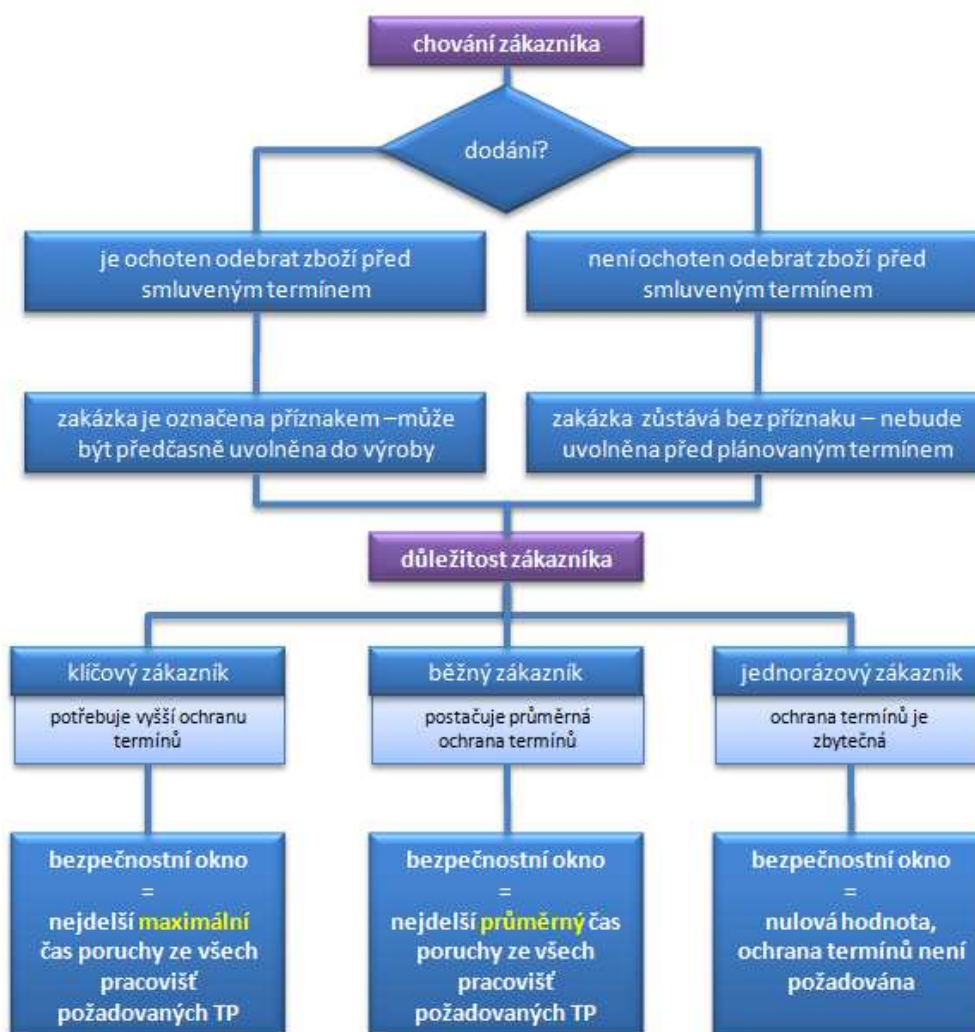
Obr. 4-27 Ukázka stanovení bezpečnostního okna podle uvažované doby potřebné pro odstranění poruchy (pro běžného i klíčového zákazníka)

Kromě běžných a klíčových zákazníků se vyskytují zákazníci s nízkou prioritou požadující nenáročnou výrobu – „jednorázový zákazník“. Dá se předpokládat, že projeví pouze jednorázovou potřebu a v budoucnu nebude s firmou dále spolupracovat. U takových zákazníků nemá smysl se jistit dlouhými bezpečnostními okny a je možno při výpočtu uvažovat bezpečnostní okno nulové, protože případné nedodržení termínu neznamena pro firmu významnější problém. Ve většině případů je tento typ zákazníka ochoten odebrat zboží, jakmile bude vyrobené.

Je nutno připomenout, že zdržení ve zpracování zakázek vlivem poruch je zohledněno i při definování pasivního stavu pracoviště, kde se ve své podstatě průměrná doba opravy na každém pracovišti promítá v určitém poměru ke každé operaci výrobního procesu formou přírážky (MPSD). Bezpečnostní okno představuje druhou „pojistku“, která celkově jistí zakázku proti nejdelší uvažované MTTR.

Samozřejmě mohou nastat případy, kdy takto vypočtená bezpečnostní okna budou příliš dlouhá, nebo krátká. V takovém případě je samozřejmě možno hodnoty upravit. Uvedený způsob určování doby předstihu, ve kterém má výroba dokončit zpracování zakázky před termínem dohodnutým se zákazníkem, je spíše vodítkem pro určení výchozí hodnoty.

Výsledný přehledný postup při definování bezpečnostního okna zakázky uvádí následující schéma:



Obr. 4-28 Stanovení bezpečnostního okna pro dokončení zakázky

V okamžiku, kdy je již známa průměrná průběžná doby výroby i potřebné bezpečnostní okno zakázky, může být snadno definován plánovaný termín jejího uvolnění do výroby. Vzhledem k rozhodnutí, že plánování bude probíhat zpětným způsobem, je výpočet následující:

termín dodání zákazníkovi

– *bezpečnostní okno*

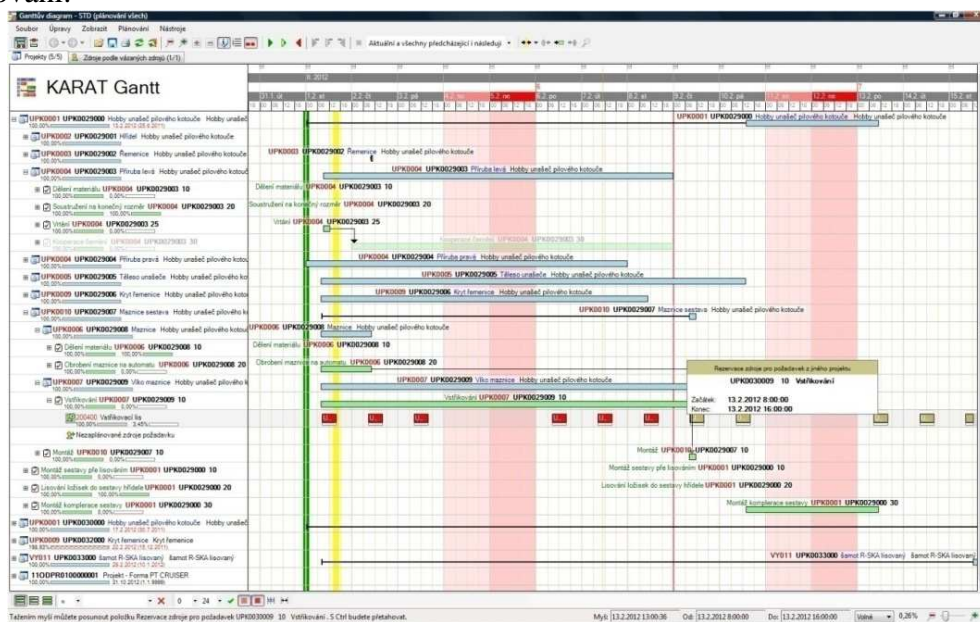
= *interní termín dokončení (odvedení hotových výrobků na sklad)*

– *průměrná průběžná doba výroby*

= *termín uvolnění zakázky do výroby*

4.4.4 Shrnutí plánování časového průběhu výroby zakázky

Kapitola se věnovala stanovení plánovaného časového průběhu zpracování zakázky. Na rozdíl od klasického přístupu k plánování se nesnaží navrhovaný model o přesné rozplánování výrobních úkolů na jednotlivá pracoviště (tzv. sequencing), z něž by pak vyplynula přesná průběžná doba výroby a došlo by k optimalizaci kapacitního vytížení pracovišť. Vzhledem k neustále se měnící situaci a nemožnosti získat spolehlivá přesná vstupní data je prakticky nemožné plán dodržet a vzhledem k množství variabilit je nutné provádět jeho časté aktualizování.



Obr. 4-29 Ukázky výrobního rozvrhu vytvořeného plánovacím softwarem [45]

Z tohoto důvodu se autor práce rozhodl k plánování přistoupit jiným způsobem, který by umožňoval decentralizaci řízení zpracování zakázek. Cílem by měl být stav, kdy jsou pracovníci přímo ve výrobě schopni se v každém okamžiku sami rozhodnout, kterou zakázku mají aktuálně zpracovat, i když dochází k neustálým odchylkám od plánu.

Průběžná doba výroby je dle literatury tvořena technologickými a netechnologickými časy a přerušeními výroby. Technologické a netechnologické časy jsou do určité míry přesně stanovitelné. Přerušení výroby vyplývají z požadavků na obsluhu více zakázek v jednom čase na jednom pracovišti, které je kapacitně omezené. To způsobuje tvorbu front a s tím spojené čekání. Při klasickém plánování vyplynou přerušení z vytvořeného výrobního plánu. Protože navrhovaný model řízení zakázek nepracuje s výrobním plánem, je potřeba určit časový plán zpracování jiným způsobem.

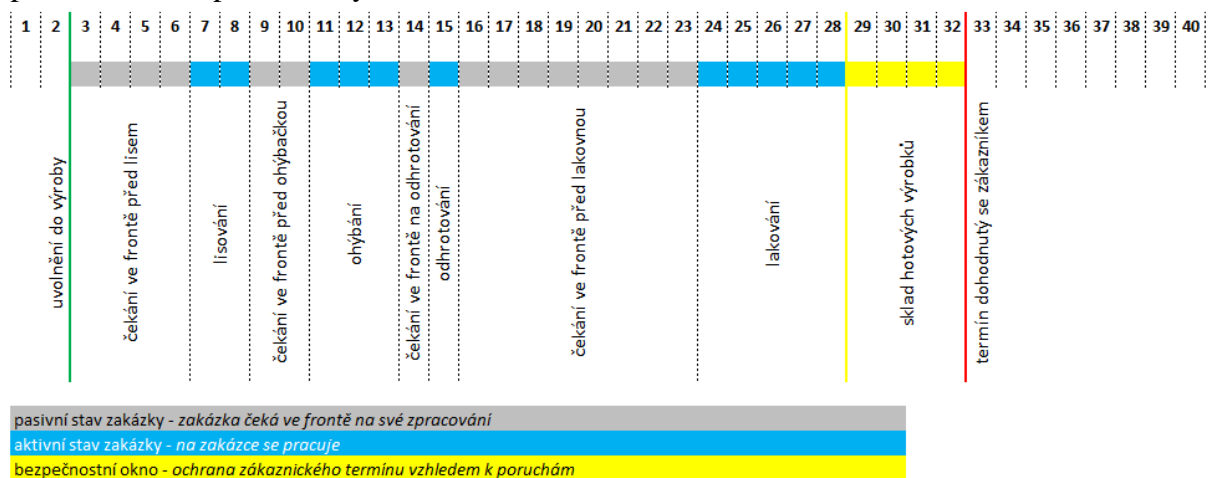
Časový průběh zpracování zakázky je tvořen ze dvou základních stavů, ve kterých se může nacházet. Prvním je aktivní stav – ten znamená, že se pracoviště aktuálně zabývá zpracováním dané zakázky. Nejedná se pouze o výrobu, ale rovněž o nastavování pracoviště, kontrolu dílů a transport na další operaci. Druhým typem je pasivní stav, který znamená, že zakázka čeká ve frontě před pracovištěm na své zpracování. Pasivní stav představuje přerušení zpracování zakázky mezi dvěma po sobě jdoucími operacemi. Pro výpočet času přerušení je použito základního vztahu pro určení doby čekání požadavku ve frontě na obsluhu dle teorie hromadné obsluhy. Na základě tohoto výpočtu však není pouze konstatováno, že pasivní stav bude trvat určitou dobu, ale vypočtená hodnota by měla být dále aktivně korigována podle své finanční náročnosti. Nákladné zakázky by měly mít plánovanou dobu čekání úmyslně kratší, aby nezvyšovaly objem aktiv vázaných v zásobách rozpracované výroby. Naopak méně nákladné zakázky by měly mít delší průběžnou dobu výroby, aby byly ve výrobě vždy k dispozici pro vytěžování výrobních kapacit.

Takto stanovená průměrná průběžná doby výroby společně s bezpečnostním oknem, které zabezpečuje dodržení termínu v případě poruchy výrobních zařízení, pak po zpětném zaplánování od termínu dohodnutého se zákazníkem definuje časový bod uvolnění zakázky do výroby.

Výsledkem časového rozvrhu zpracování zakázky nejsou přesné závazné časy, kde se bude zakázka jak dlouho nacházet. Jedná se pouze o průměrné orientační hodnoty. Podle nich by mělo zpracování za standardní situace probíhat. Výpočet vychází z průměrných hodnot za plánovací období, ne z aktuálního stavu vytížení kapacit. Ve skutečnosti se však samozřejmě předpokládají odchylky. Ty by měly být korigovány přímo ve výrobě řízením pořadí výběru zakázek z fronty.

Hrubý součet aktivních časů zakázky (na základě údajů z TP) a pasivních časů (dle teorie front) neposkytuje správnou průběžnou dobu zakázky. Nezohledňuje totiž plánované a neplánované odstávky v činnosti pracovišť (za takové přerušení může být považován například jednosměnný provoz, porucha stroje apod.). Tyto odstávky znamenají významný faktor, který působí na prodloužení reálného času zpracování. Proto byl v této práci definován postup, jak je formou přírážky do výpočtu zařadit.

Celkově tento přístup představuje zjednodušení plánování oproti klasickému způsobu. Jeho cílem není dosáhnout optimálního výrobního rozvrhu, ale snaha je upřena na jednoduchost a dále na získání alespoň přibližného časového rozvrhu a podkladu pro decentralizované operativní řízení přímo ve výrobě.



Obr. 4-30 Ukázka časového rozvrhu zpracování zakázky

4.5 Výrobní fáze zpracování zakázky

Výrobní fáze je druhou částí modelu řízení zpracování zakázek, která přímo navazuje na přípravnou fázi. Jestliže úkolem přípravné fáze bylo stanovení idealizovaného průměrného časového průběhu zpracování zakázek, cílem výrobní fáze je snaha o maximální možné dodržení termínů zakázek za pomoci tohoto orientačního výrobního plánu. Při tom se bere do úvahy, že v reálné výrobě je velké množství rušivých, těžko předpověditelných faktorů. Vzhledem k tomuto faktu se není možné odchýlkám od plánu vyhnout. Klíčovým prvkem, který je pak zodpovědný za dodržení plánu, je pracovník řídící přímo výrobu na dílně (obvykle výrobní mistr). Ten má informace o aktuální situaci, abnormalitách a skutečných výrobních možnostech. Na základě těchto informací a zkušeností se pak rozhoduje a řídí chod výrobní jednotky. I přes neustále se vyvíjející a zdokonalující výpočetní techniku stále není možno jeho roli beze zbytku nahradit umělou inteligencí. Tento fakt je v kusové výrobě možná nejmarkantnější.

Role výpočetní techniky by v takovém případě nemělo být dogmatické řízení výroby, ale spíše rychlé poskytování správných a kompletních informací řídicím pracovníkům. Jejich úkolem je pak na základě těchto informací učinit v danou chvíli správné proveditelné rozhodnutí.

Tradiční přístup řízení pomocí přesného (denního, týdenního) výrobního plánu spočívá v co možná nejvíce racionálním rozdělení výrobních operací zakázek na jednotlivá pracoviště. V ideálním případě by mělo být možné z plánu vyčíst pro všechna pracoviště, která výrobní zakázka na nich bude v jednotlivých okamžicích zpracovávána. Při zadávání zakázek na pracoviště však může docházet k problémům jako například:

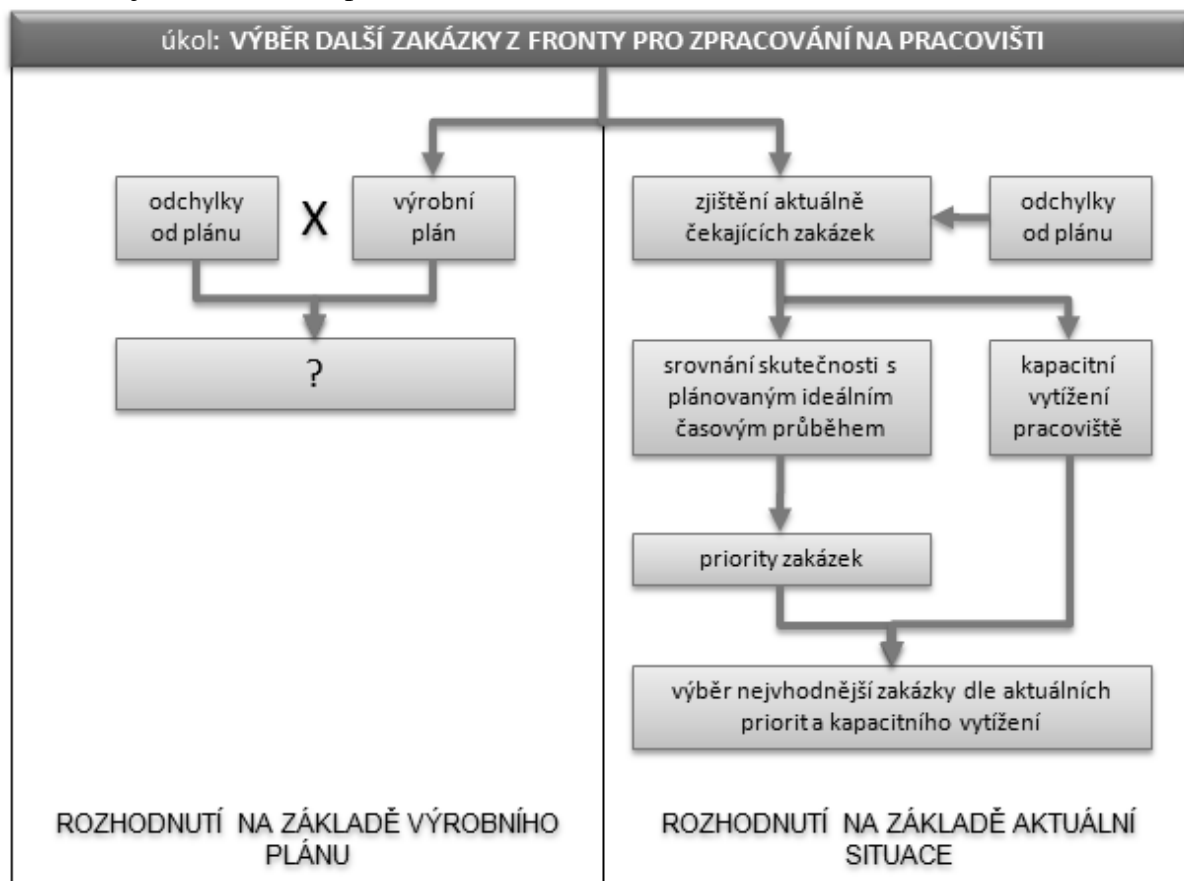
- má být zahájena výrobní operace na další zakázce, avšak stále ještě nebylo dokončeno zpracování aktuálního pracovního úkolu;
- má být zahájena výrobní operace na další zakázce, avšak zakázka ještě na pracoviště nedorazila (není možno ji vyzvednout z fronty);
- má být zahájena výrobní operace na další zakázce, avšak ve frontě se mohou nacházet opožděné zakázky, které by měly být zpracovány přednostně;
- má být zahájena výrobní operace na další zakázce, avšak zakázka má požadavky na zkušenosti operátora, typ stroje, nářadí apod., které není možno aktuálně splnit;
- některé zakázky musí být zpracovány na dané operaci společně (například výroba z jednoho kusu polotovaru).

Z těchto důvodů pak začne docházet k odchýlkám od plánu. Jestliže není možno plán přesně dodržet, je potřeba se v daný okamžik rozhodnout o náhradní variantě (například zvolit jinou zakázku z fronty, která by měla být zadána do výroby). Pro toto rozhodnutí již však není možno výrobní plán použít, protože ten uvažuje pouze standardní průběh a nedokáže dostatečně rychle poskytnout informace pro operativní rozhodnutí, jak se zachovat v dané konkrétní situaci. K tomu by bylo nutné provést přeplánování, které je více či méně časově náročné. Každopádně v daném okamžiku je rozhodnutí ponecháno na úsudku řídicího pracovníka bez dostatečné podpory.

Smyslem navrhovaného modelu řízení zpracování zakázek je nezavírat oči před odchýlkami, kterým se z podstaty řešeného problému nedá nikdy zcela vyhnout, ale naopak poskytovat řídicím pracovníkům v každém okamžiku podklady pro rozhodnutí, jak se v dané konkrétní situaci zachovat. Příkladem může být situace, kdy není možno aktuálně zpracovat plánovanou zakázku a je potřeba zvolit z fronty čekajících jiný úkol ke zpracování. Systém by měl dát mistrovi informaci, která z čekajících zakázek má v danou chvíli nejvyšší prioritu nebo zdali

je z důvodu kapacitního přetížení vhodné sloučit zpracování některých zakázek a zkrátit tak plánované přípravné časy.

Příklad přístupu tradičního řízení dle výrobního plánu a navrhovaného modelu uvádí následující obrázek. Týká se řešení otázky, kterou z čekajících zakázek nasadit na pracoviště jako další. Zatímco běžný postup spočívá v získání informací z výrobního plánu, který však může být silně narušen odchylkami, navrhovaný model prověřuje skutečnou aktuální situaci a na jejím základě volí a doporučuje v daném okamžiku nejlepší možnou variantu. Klasický výrobní plán poskytuje informaci, „jak by to správně mělo být“, ale není možno z něj získat informaci, jak se zachovat, pokud tomu tak není.



Obr. 4-31 Schéma rozhodování při výběru další zakázky z fronty

4.5.1 Řízení zpracování zakázek dle stupně plnění plánu - priorit

Základem modelu řízení ve výrobní fázi je sledování vývoje časového průběhu zakázek výrobou, neboli je potřeba průběžně zjišťovat aktuální informace z výroby a porovnávat je s plánem. Na základě porovnání je pak možno zakázkám přiřazovat hodnoty okamžitých priorit a podle nich se pak rozhodovat.

Časový plán zpracování pro jednotlivé zakázky vychází z přípravné fáze. Protože se předpokládá častý vznik odchylek reality od plánu, nemá smysl tvořit detailní a propracovaný výrobní plán. Proto byl v přípravné fázi stanovován pouze idealizovaný průměrný časový průběh zakázky výrobou. Ve výrobní fázi pak musíme sledovat stupeň jeho reálného dosahování. Pro tento účel je vhodné zavést určité kontrolní body v rámci výrobního procesu každé zakázky. Autor se rozhodl tyto kontrolní body označit jako „milníky“. V těchto milnících je pak porovnáván skutečný časový průběh zakázky s teoreticky vypočteným. Pokud by byly milníky dosahovány přesně, bylo by zaručeno dodržení požadovaného termínu

dokončení. Je-li v průběhu zpracování vidět, že se výroba oproti milníkům zpožďuje, je zřejmé, že je termín v ohrožení.

Jako jasně definovatelné milníky byly zvoleny přechody zakázky z pasivního stavu do aktivního a naopak. V praxi by mělo být prvním milníkem uvolnění materiálu ze skladu do výroby. Zakázka tak vstupuje obvykle do pasivního stavu, kdy čeká na opracování ve frontě před prvním pracovištěm ve svém výrobním postupu. Další milník představuje přechod do aktivního stavu – na zakázce se začne pracovat. Aktivní stav zakázky je ukončen milníkem, kdy je zakázka předána do fronty před dalším pracovištěm. To se opakuje až do okamžiku odvedení dokončené zakázky na sklad hotových výrobků – poslední milník.

Pozn.: Milník samozřejmě udává určitý časový okamžik, nepředstavuje však dogmaticky přesný čas, kdy měla být uskutečněna určitá akce. Představuje spíše kontrolní bod, ve kterém můžeme porovnat ideální teoretický plán se skutečností a získat informaci o odchylnkách, podle kterých je zakázce přiřazena priorita.

Nejdůležitější informací, která by se měla jako zpětná vazba vracet z výroby, je hlášení o dosažení milníků. Mělo by být v každém okamžiku jasné, v jaké fázi zpracování se která zakázka nachází. Fázemi jsou zde myšleny aktivní a pasivní stavy zakázek vzhledem k jednotlivým pracovištím. V systému by měla být průběžně aktualizovaná data, zda se na zakázce v daném okamžiku pracuje, nebo zakázka teprve čeká na své zpracování ve frontě před pracovištěm a o které pracoviště se jedná. Tato informace je základním podkladem pro porovnání plánovaného a reálného časového průběhu zpracování, na jehož základě se pak zakázce přiřazuje aktuální priorita.

Pro každou zakázku by měl být definován tzv. „korekční fond“. Do něj by měly být postupně ukládány rozdíly mezi plánovanými a reálnými časy dosažení jednotlivých milníků. Aktuální zjištěný rozdíl v dosažení milníku by se měl vždy přičíst k dosavadním uloženým datům v tomto fondu. Korekční fond pak představuje v okamžiku dosažení určitého milníku celkový dosavadní časový rozdíl plánovaného a skutečného průběhu zpracování zakázky. Ilustrujme popsané fungování fondu na příkladu uvedeném na následujícím obrázku:

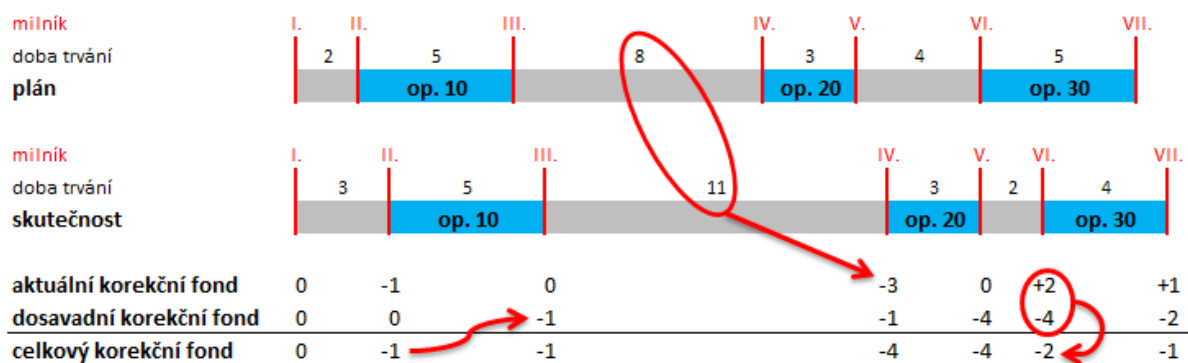
operace	plánovaný čas	skutečný čas	korekční fond	průběh zpracování
čekání ve frontě - lisování	8	10	-2	<i>zpoždění proti plánu</i>
10 lisování	4	4	-2	<i>celkové zpoždění proti plánu není odstraněno</i>
čekání ve frontě - ohraňování	7	5	0	<i>výroba probíhá dle plánu (zpoždění odstraněno)</i>
20 ohraňování	6	5	1	<i>předběhnutí oproti plánu</i>
čekání ve frontě - svařování	5	9	-3	<i>zpoždění proti plánu</i>
30 svařování	10	14	-7	<i>zpoždění proti plánu narůstá</i>
čekání ve frontě - lakování	8	3	-2	<i>zpoždění proti plánu redukováno</i>
40 lakování	5	3	0	<i>ukončení výroby dle plánu (díky odstranění zpoždění)</i>

Obr. 4-32 Vývoj korekčního fondu během zpracování zakázky

V okamžiku, kdy zakázka projde libovolným milníkem, mělo by vždy dojít k aktualizaci dat o jejím zpracování. Systém by měl porovnat skutečný čas doby trvání právě ukončeného stavu (pasivního / aktivního) s plánovaným časem. Aktuálně zjištěný rozdíl je pak přičten k dosavadní hodnotě korekčního fondu.

Porovnání plánu se skutečností tedy neprobíhá tak, že by se proti sobě postavily absolutní časy plánovaného a skutečného dosažení milníku. Například, že výrobní operace na zakázce měla být dokončena ve 13:00, ale skutečný čas byl až 14:50. Místo toho se porovnávají jednotlivé doby trvání fází zpracování zakázky, hodnota celkového časového zpoždění je ukryta v korekčním fondu. Proto stačí pouze zjistit diferenci doby trvání právě ukončeného stavu a tu přičíst k dosavadní hodnotě korekčního fondu.

Pozn.: doba trvání stavu je rozdílem mezi časem dosažení aktuálního a předchozího milníku.



- aktuální korekční fond představuje rozdíl mezi plánovanou a skutečnou dobou trvání stavu po skutečném průchodu milníkem
- dosavadní korekční fond představuje rozdíl mezi plánem a skutečností od začátku výroby až do dosažení dosud posledního milníku
- celkový korekční fond je součtem aktuálního a dosavadního korekčního fondu a vyjadřuje celkový rozdíl plánovaného a skutečného průběhu zpracování

Obr. 4-33 Aktualizace korekčního fondu zakázky při průchodech milníky

Z obrázku je dobře patrné, že se pracuje se třemi typy korekčních fondů. Prvním z nich je aktuální korekční fond, do kterého se ukládá po průchodu milníkem výsledek porovnání plánované a skutečné doby trvání právě dokončené fáze zpracování zakázky. Na obrázku je znázorněno plánované čekání ve frontě osm časových jednotek, zatímco skutečnost byla jedenáct jednotek. Zakázka tedy nabrala nové zpoždění tři časové jednotky, což bylo zjištěno při průchodu milníkem IV. Tato hodnota by měla být připočtena k dosavadní hodnotě zpoždění počítané od zahájení zpracování do okamžiku dosažení milníku III. (dosavadní korekční fond) = jedna časová jednotka. Celkový korekční fond je pak dán součtem obou fondů: $(-3) + (-1) = (-4)$ č.j.

Jakkoli by se zavedení korekčního fondu mohlo zdát postačující pro posouzení dodržování plánu, je si zde potřeba uvědomit, že tímto není zachycen časový vývoj zpracování od okamžiku posledního dosažení milníku až do aktuální chvíle, kdy je prováděno vyhodnocení. K aktualizaci informace o zpoždění (korekčního fondu) totiž dojde až při průchodu zakázky milníkem.

To může být v některých případech problematické. Například v případě, že ve frontě čekají dvě zakázky, kdy každá z nich má nulovou hodnotu korekčního fondu, by se mohlo zdát, že jejich priorita je shodná. Avšak pokud jedna již ve frontě čeká delší dobu než druhá, mělo by toto být zohledněno. Zároveň každá ze zakázek může mít plánovanou jinou dobu čekání, a proto i při shodném okamžiku vstupu dvou zakázek do fronty nemusí být priority shodné.

Z tohoto důvodu by mělo být prováděno i vyhodnocení časového průběhu zpracování zakázky od času dosažení posledního milníku, kterým prošla, až do okamžiku vyhodnocení (aktuální čas vyhodnocení). Tato uplynulá doba musí být srovnána s plánovanou dobou trvání nynějšího pasivního nebo aktivního stavu. Na základě porovnání je pak možno stanovit tzv. „mezimilníkové zpoždění“ a to přičíst k celkovému korekčnímu fondu. Vysvětlení je lépe patrné z následujících příkladů:

Zakázka vstoupí do fronty před pracovištěm v čase 10 (hodnota korekčního fondu při vstupu do fronty je -3). Plánovaná doba čekání zakázky v této frontě je 5 č.j. Pokud proběhne vyhodnocení mezimilníkového zpoždění zakázky ve frontě v čase 13, bude hodnota +2 č.j. Ta je stanovena odečtením aktuálního čekání 3 č.j. (čas 13 – čas 10) od plánovaného čekání 5 č.j.

Další průběžné vyhodnocení priorit se provede například v čase 16. Nyní již zakázka čeká ve frontě 6 č.j. (16 – 10). Z toho vyplývá, že je o jednu časovou jednotku překročen

plán a aktuální prioritita zakázky stoupá. Pokud by se čekalo na aktualizaci až při průchodu milníkem, tato informace by chyběla.

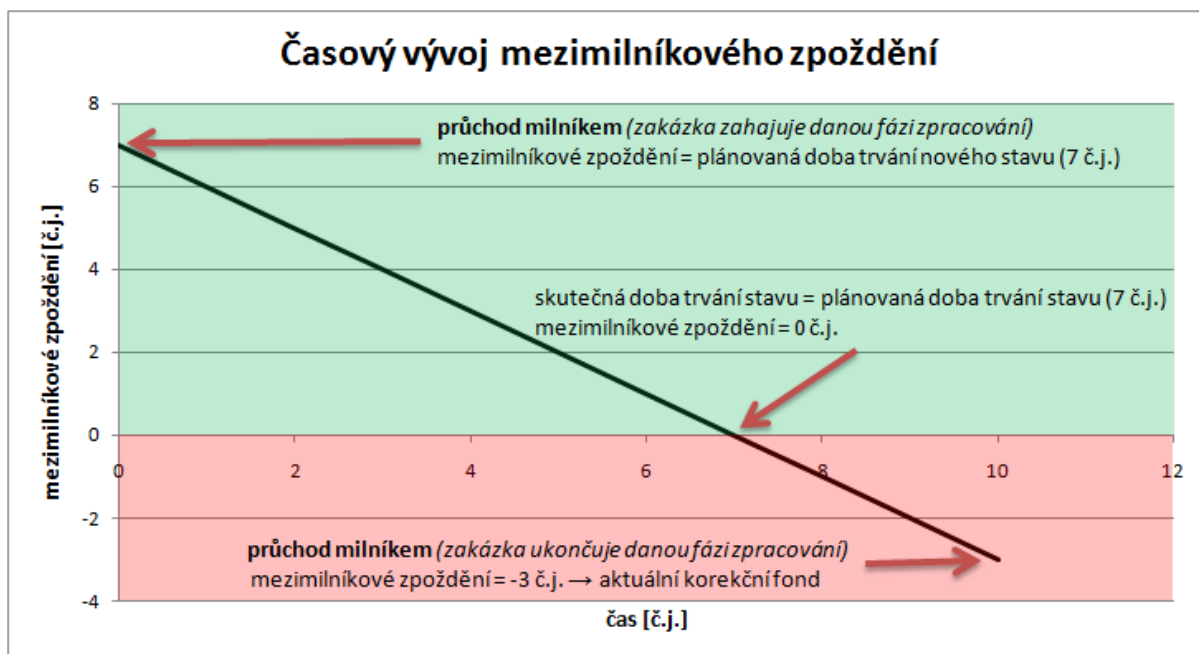
Pro stanovení celkové priority je nutno mezimilníkové zpoždění (-1) přičíst ke korekčnímu fondu (-3). Výsledná prioritita zakázky je tedy -4. Zpracování zakázky se tak dále opožďuje proti plánu.

Mezimilníkové zpoždění zakázky se určí podle vztahu:

$$\begin{aligned} \text{mezimilníkové zpoždění} &= \text{plánovaná doba trvání stávajícího stavu} - \text{skutečná doba trvání stavu} \\ \text{skutečná doba trvání stavu} &= \text{aktuální čas} - \text{čas posledního průchodu milníkem} \end{aligned}$$

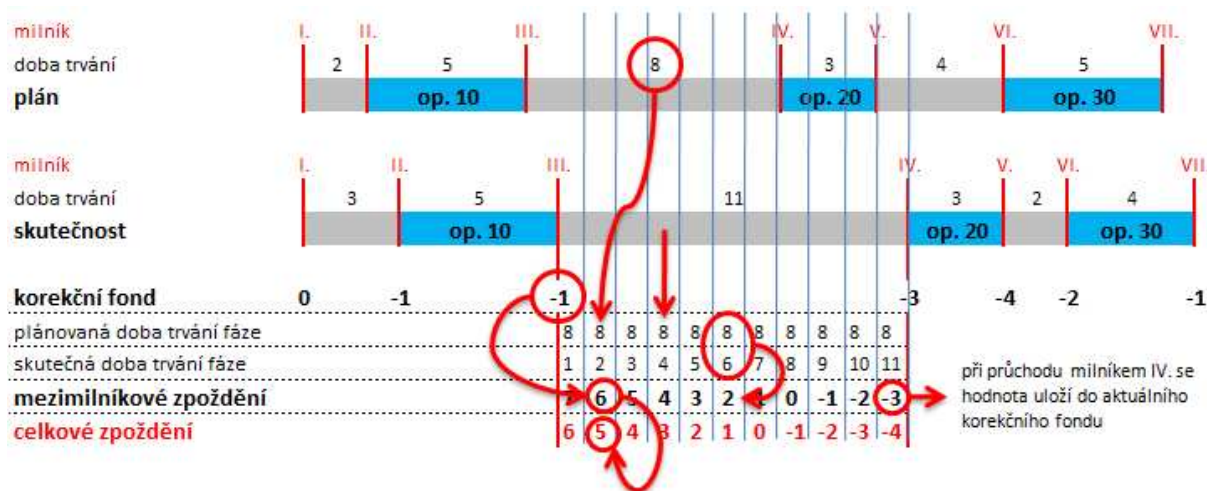
Čas posledního průchodu milníkem je pouze jiným vyjádřením okamžiku, kdy zakázka přešla do aktuálně hodnoceného stavu (pasivního nebo aktivního).

Při vstupu zakázky do nové fáze zpracování (průchod milníkem) získá mezimilníkové zpoždění automaticky kladnou hodnotu rovnou plánované době trvání této fáze. V průběhu času se hodnota postupně zmenšuje až do okamžiku, kdy se skutečná doba trvání fáze vyrovná plánované době trvání. V tomto okamžiku je mezimilníkové zpoždění rovno nule. Pokud by zakázka v tuto chvíli nepřešla do další fáze, nabude mezimilníkové zpoždění záporné hodnoty, a zakázka se tak ocitá ve zpoždění. V okamžiku, kdy zakázka dosáhne milníku (daná fáze jejího zpracování je dokončena), změní se mezimilníkové zpoždění na aktuální korekční fond a hodnota mezimilního zpoždění se opět položí rovna plánované době trvání nově započaté fáze. Názorné vysvětlení nabízí následující obrázek. Ten znázorňuje časový vývoj mezimilního zpoždění vybrané fáze zakázky (plánovaná doba trvání fáze = 7 č.j., skutečná doba trvání až do dosažení dalšího milníku je 10 č.j.).



Obr. 4-34 Vývoj mezimilního zpoždění

Závěrem výkladu o korekčních fondech zakázek a mezimilních zpožděních uvedme ještě na příkladu jejich vzájemný vztah:



Obr. 4-35 Mezimilníkové zpoždění a korekční fond

Na základě součtu celkového korekčního fondu (celkové zpoždění zpracování zakázky od okamžiku uvolnění do výroby až do okamžiku posledního evidovaného průchodu milníkem) a mezimilníkového zpoždění je každé zakázce přiřazována aktuální priorita zpracování v daném okamžiku. Čím větší je zpoždění (nejnižší hodnota), tím vyšší bude priorita. Dle priorit se řídí vybírání úkolů z front před pracovišti.

Tento způsob kontrolování průběhu zpracování zakázek umožňuje pracovat i se zpožděním v oblasti zásobování materiálem. Průměrný plán zpracování zakázky vypracovaný v přípravné fázi stanovuje okamžik, kdy by měla být zakázka uvolněna do výroby. K tomu je samozřejmě nutné mít k dispozici potřebný materiál. Pokud tomu tak není, na zakázce není možno pracovat. To se změní až v okamžiku, kdy materiál dorazí. Zakázka je tedy vpuštěna do výroby se zpožděním oproti plánu. Díky porovnání plánu a skutečnosti při průchodu prvním milníkem, získává zakázka hned na začátku zápornou hodnotu korekčního fondu a její priorita při zpracování tak automaticky narůstá. Tím je možno skluz proti plánu postupně snižovat.

4.5.2 Řízení zpracování zakázek dle stupně vytížení kapacit

V předchozím textu bylo zmíněno, že pořadí zpracování zakázek se řídí dle jejich aktuálního zpoždění vůči plánu. Takto je možno pružně reagovat a řídit výrobu za cílem maximálního možného dosažení termínů zakázek.

Avšak tento způsob neřeší problém s vytížením kapacit jednotlivých pracovišť. Využití výrobních kapacit je v kusové neopakované výrobě obecně velkým problémem. Hlavním důvodem je nerovnoměrnost požadavků zákazníků. Ta se objevuje jak z pohledu časového, tak i z hlediska výrobního mixu.

Poptávka kolísá v rámci delších období (rok) i v krátkých časových horizontech (měsíc, týden). Objem práce tedy není konstantní a v určitých obdobích tak logicky dochází k překračování dostupných výrobních kapacit, zatímco jindy jsou kapacity využívány jen omezeně. Toto je možno korigovat například limitováním příjmu nových výrobních zakázek. To však může některé zakázky odradit a ve vztahu ke klíčovým partnerům je tato strategie neakceptovatelná. Jiným způsobem řešením situace je outsourcing, kdy určitou část práce, kterou není firma schopna zvládnout, předá jiné firmě, která má aktuálně volné kapacity. V praxi se však objevuje obava, že by kooperant mohl v budoucnosti oslovit zákazníka sám a původní firmu o zákazníka připravit. Obvyklým způsobem řešení jsou pak přesčasy, které jsou však limitovány zákonnými normami.

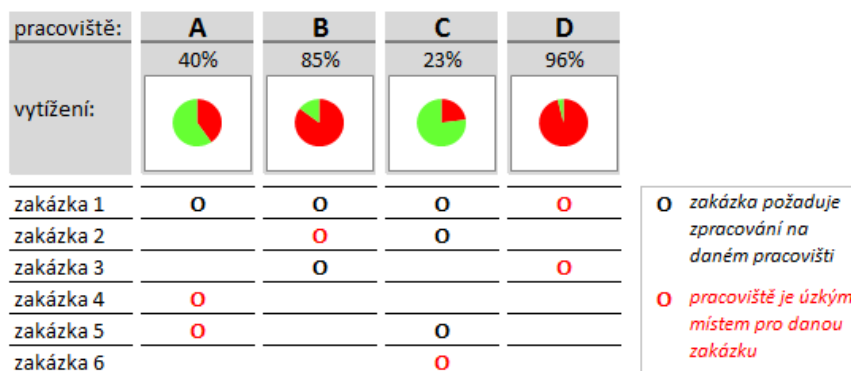
Vyřešení problému s využitím kapacit není automaticky zaručeno ani v případě konstantního objemu práce. Firmy působící v rámci kusové zakázkové výroby ve většině případů používají více různých technologií tak, aby byly schopny v maximální možné míře pokrýt komplexnost zákaznických požadavků. Příkladem může být zámečnická dílna, kde je možno nalézt technologie na dělení materiálu, obrábění, svařování, lakování apod. Samozřejmě není možno předpokládat, že se všechna pracoviště podaří uspokojivě vytížit. Záleží vždy na mixu zakázek, které se na dílně v jednotlivých okamžicích objeví. Některá pracoviště vykazují stabilně vyšší stupeň využití, u nich je pak potřeba klást důraz na jejich řízení, protože se mohou snadno stát úzkými místy procesu.

Hovoříme-li o úzkých místech, je potřeba se zde zmínit o teorii omezení (TOC - Theory Of Constraints). Jejím základem je myšlenka, že každý proces má určité místo, které limituje celkový průtok a následně i výstup z procesu. Tento bod je označován jako „úzké místo“ tzv. „bottleneck“. Zlepšení na jakémkoli jiném místě nedokáže zvýšit průtok a představuje pouze teoretickou výhru. Jedině efektivním řízením úzkého místa je možno dosáhnout skutečného zlepšení.

V případě výrobní linky není odhalení úzkého místa problémem. Je jím nejpomalejší pracoviště v lince (s nejdelším cyklovým časem). Typickým příznakem toho, že pracoviště brzdí chod linky, je hromadění rozpracované výroby před tímto místem. Ve vysoce opakované výrobě organizované do výrobních linek se setkáváme s ustáleným tokem výrobních úkolů – vyrovnaný objem práce, nebo stále stejný tok materiálu, kde se nemění sled pracovišť. To však v kusové výrobě neplatí. Objem práce v průběhu času kolísá. Různé zakázky požadují zpracování na různých pracovištích. Pořadí průchodu přes pracoviště se může měnit. Rovněž doba opracování na jednom pracovišti je odlišná pro jednotlivé zakázky. To vše má za následek dynamicky se měnící polohu omezení výrobního systému. Zatímco v pondělí může být fyzickým omezením například lisovna, ve středu se zakázky přesunou na svařovnu a v tom okamžiku se ona stane úzkým místem. Úzké místo je tedy v průběhu času „plovoucí“.

Dle teorie omezení je dalším krokem po odhalení omezení systému jeho efektivní řízení – vše v systému se podřizuje úzkému místu. Následně je vyvíjena snaha o rozšíření kapacity úzkého místa. Po těchto zásadách by se mělo stát omezením systému jiné pracoviště a cyklus se znovu opakuje na novém místě. U kusové výroby, kde se poloha omezení neustále mění, je však toto poměrně obtížné. Spíše než o systematické odstraňování omezení se jedná o rychlé jednorázové akce vedoucí k momentálnímu zvýšení kapacity přetíženého pracoviště.

Situace v neopakované zakázkové výrobě je komplikována ještě dalším faktem. Úzké místo nepředstavuje omezení pro všechny zakázky, které se v daném okamžiku ve výrobě nacházejí. Ne všechny výrobní úkoly totiž požadují zpracování na nejvíce vytíženém pracovišti. Pro ně může být fyzickým omezením jejich průtoku zcela jiné pracoviště (viz Obr. 4-36). Nehovoříme zde tak pouze o úzkém místě výrobního systému, ale také o úzkém místě zakázky.



Obr. 4-36 Úzké místo zakázky

Z uvedeného vyplývá, že řízení úzkých míst v neopakované zakázkové výrobě není jednoduché. Situace se neustále mění a je potřeba na ni pružně reagovat. Dá se předpokládat, že ve výrobním systému nebude vždy pouze jedno úzké místo, ale může jich být více v závislosti na tom, jaké zakázky požadují jaká pracoviště. Systém řízení by měl být schopen v každém okamžiku určit, kdy se jednotlivá pracoviště stávají omezením a je tedy potřeba přijmout akce vedoucí ke zvýšení kapacity.

Aby bylo možno rozhodnout, zda je pracoviště úzkým místem, musí být jasně definováno kritérium. Jednou z možností by bylo porovnání objemu pracnosti přijatých zakázek ke kapacitě jednotlivých pracovišť. Zde však nastane problém s dynamikou. Zakázky nepřitékají do výroby plynule, konstantně, ale naopak spíše ve vlnách. Zároveň jejich průchod výrobou není plynulý. Proto v praxi dochází k tomu, že jsou pracoviště v určitých okamžicích přetížena, i když celkový objem práce za dané období je nižší než dostupné kapacity – jednorázové zahlcení. Toto kritérium tedy není pro operativní řízení na nejnižší úrovni vhodné.

Jinou možností je hodnocení objemu rozpracované výroby aktuálně čekající před pracovištěm. Toto hledisko se jeví pro skutečně operativní řízení vhodnější, protože odráží aktuální situaci na dílně. Otázkou však je určení hodnoty, od které se pracoviště stává úzkým místem. Cestou k vyřešení problému je uvědomění si, co způsobuje fronta čekajících úkolů před pracovištěm. Odpovědí je čekání na obsluhu. Průměrná hodnota doby čekání požadavku ve frontě již byla počítána v přípravné fázi za pomoci teorie front. Pomocí srovnání středních intenzit vstupu a výstupu pracoviště byla definována výchozí hodnota průměrného čekání. Ta může být dle empirických dat ještě dále korigována. S touto dobou je počítáno při sestavování průměrného časového průběhu zpracování každé zakázky. Jestliže tedy průměrná doba čekání požadavků ve frontě před pracovištěm nepřekročí výchozí plánovanou hodnotu, není ohrožen plán a tak ani termíny zakázek. Jestliže se však skutečná doba zvýší, plán začne být ohrožován a je potřeba zvýšit průtok tímto kritickým místem. Takové hodnocení je jednoznačné. Pouze je nutno získávat z výroby průběžně zpětnou vazbu o době čekání jednotlivých zakázek ve frontách.

Hodnocení vytížení pracoviště dle průměrné doby čekání na obsluhu by mohlo být použitelným kritériem. Plánovaná doba čekání je známa z přípravné fáze. Chybí však stanovit způsob určení skutečné průměrné doby čekání.

Jednou z možností je sbírat zpětně údaje o čekání zakázek při jejich výběru z fronty. Tím ale získáme v daný okamžik již historická data. Zajímavější jsou však informace o tom, co bude následovat – jaké bude čekání zakázek, které ve frontě zůstaly. Každá ze zakázek již čeká ve frontě určitou dobu. Navíc podle jejich pořadí ve frontě (dáno prioritami) tam ještě určitou dobu stráví. Tuto dobu je možno určit na základě plánovaných hodnot doby opracování

předcházejících zakázek. Samozřejmě při příchodu nové zakázky do fronty nebo naopak výběru čekající zakázky z fronty by měla být provedena aktualizace. Příklad výpočtu je následující:

pořadí zakázky ve frontě	zakázka	doba dosud strávená čekáním v aktuální frontě [č.j.] <i>PWT</i>	plánovaný čas opracování (aktivní čas zakázky na pracovišti) [č.j.] <i>PT</i>	doba, po kterou bude zakázka od této chvíle ještě čekat ve frontě [č.j.] <i>FWT</i>	předpokládaná celková doba strávená čekáním v aktuální frontě [č.j.] <i>TWT</i>
0.	ZAK214	13	4	0	13
1.	ZAK200	15	3	4	19
2.	ZAK223	11	2	7	18
3.	ZAK219	14	4	9	23
4.	ZAK240	7	3	13	20
5.	ZAK237	4	5	16	20
6.	ZAK225	2	2	21	23
Σ =					123
počet zakázek ve frontě =					6
Ø doba čekání ve frontě =					20,5

PWT	... Past Waiting Time	dosavadní doba čekání zakázky ve frontě
PT	... Processing Time	doba opracování zakázky na pracovišti (aktivní stav zakázky)
FWT	... Future Waiting Time	doba, kterou zakázka ještě stráví ve frontě
TWT	... Total Waiting Time	celková doba čekání zakázky ve frontě

Pozn.: přepočítání je zachyceno v okamžiku, kdy je zakázka "ZAK214" vyzvednuta z fronty, proto hodnotíme pouze šest zbylých zakázek ve frontě

Obr. 4-37 Výpočet doby čekání pro jednotlivé zakázky ve frontě

Z příkladu je vidět, že se pracuje se čtyřmi základními hodnotami (PWT, PT, FWT a TWT). Dosud strávená doba ve frontě (PWT) je dána rozdílem aktuálního času a času průchodu zakázky dosud posledním milníkem představujícím vstup do fronty. Doba trvání aktivního stavu (PT) vychází z plánu stanoveného v přípravné fázi. Doba, kterou zakázka bude muset ještě strávit ve frontě (FWT), je nutno dopočítat:

$$FWT_k = \sum_{i=1}^{k-1} PT_i + PT_{\text{aktuálně zpracovávané zakázky}} \quad (41)$$

, kde k je pořadové číslo hodnocené zakázky ve frontě

Znamená to, že zakázka ještě stráví ve frontě čas rovný součtu času opracování všech zakázek, které jsou ve frontě před ní. Navíc je nutno připočítat zbývající dobu trvání aktivního stavu zakázky, na které se právě pracuje. Tato zbývající doba se určí jako plánovaná doba trvání aktivního stavu zakázky s odečtením dosud uplynulého času, po který byl výrobní úkol zpracováván. Pokud provádíme přepočítání v okamžiku přechodu zakázky z fronty na pracoviště, bude hodnota samozřejmě rovna celému PT.

Celkový čas čekání ve frontě (TWT) k -té zakázky se pak snadno určí součtem:

$$TWT_k = PWT_k + FWT_k \quad (42)$$

Výsledný předpokládaný průměrný čas čekání požadavků ve frontě na obsluhu je dán vztahem:

$$\emptyset \text{ čas čekání požadavku ve frontě} = \frac{\sum TWT}{\text{počet čekajících požadavků}} \quad (43)$$

Výpočet je vhodné provádět vždy ve chvíli, když dojde ve frontě ke změně, tedy v okamžiku, kdy je některý z čekajících úkolů vyzvednut z fronty nebo naopak do fronty přijde nový požadavek. Pokud bychom chtěli snížit náročnost, může být prováděn výpočet pouze při příchodu, nebo pouze při výstupu. Vhodnější se v takovém případě jeví aktualizace při výběru požadavku z fronty, protože je snazší vypočítat zbývající dobu PT aktuální zakázky.

Jestliže tento předpokládaný průměrný čas čekání, který vychází ze skutečné aktuální situace, přesáhne plánovanou dobu čekání uvažovanou v přípravné fázi, kapacita pracoviště není dostatečná pro obsluhu požadavků v požadované době a tak se pracoviště v dané chvíli stává úzkým místem. Neumožňuje totiž požadovaný průtok. V takovém okamžiku je potřeba průtok pracoviště zvýšit.

Rozšíření kapacity pracoviště je možno realizovat různými způsoby, záleží vždy na konkrétním případě, která z možností je uplatnitelná. Zrychlit činnost pracoviště je možno například pomocí přidání operátora, prací přesčas nebo kooperací.

Existuje však ještě další možnost, jak řešit situaci bez nutnosti využití dalších zdrojů, které nemusí být vždy rychle dostupné. U většiny pracovišť je nutno provádět před započítáním vlastní práce seřízení zařízení na výrobu daného výrobku. Velikost těchto dávkových časů není vždy fixní, přesně stanovitelná, ale je závislá na počtu a složitosti parametrů, které je nutno měnit při přechodu z předchozího nastavení na nastavení nové. To znamená, že existují vzájemně si více a méně podobné zakázky. S tímto jevem se setkáme nejen v kusové výrobě, ale také ve výrobě vysoce opakované. Vliv dávkových časů je však v neopakované výrobě výraznější z důvodu jejich vyššího poměru vzhledem k výrobním časům.

Jestliže ve frontě čeká více požadavků, dá se předpokládat, že některé z nich mohou vykazovat vzájemnou podobnost. Pokud by tyto podobné požadavky byly zpracovávány po sobě, měl by být redukován objem práce potřebné ke změně seřízení pracoviště, a tím i časová náročnost. Velikost časové úspory bude závislá na úrovni podobnosti po sobě jdoucích úkolů. Jako smysluplné se tedy jeví řadit požadavky ve frontě dle podobnosti. Pro posouzení podobnosti musí být definováno nějaké kritérium. Označme ho jako „klíčový prvek“ (angl. Key Point, dále také „KP“). KP lze definovat jako parametr procesu, který v případě shodné hodnoty u více zakázek snižuje nároky na přestavení pracoviště. Příklady možných KP uvádí následující tabulka:

PROCES	KLÍČOVÝ PRVEK
lakování	druh barvy
lisování	tloušťka a materiál plechu
svařování	shodný přípravek
řezání	délka řezaného materiálu a úhel
ohraňování	tloušťka a materiál plechu
vrtání	shodný nástroj

Tab. 4-4 Příklady možných klíčových prvků pro vybrané technologie

Obvykle spočívá podobnost v použití shodných nástrojů či přípravků, jindy vyplývá ze shody zpracovávaného materiálu.

Pokud bychom chtěli zakázky slučovat dle jejich podobnosti, je nezbytné pro každý proces definovat jeho specifický KP. U každé operace zakázky je pak nutno definovat konkrétní hodnoty daného KP (například typ práškové barvy). Podle nich je pak možno provést případné slučování zakázek ve frontě.

Pro propočty je zároveň nutné stanovit, jakou časovou úsporu je možno získat, pokud jsou hodnoty parametru shodné. To může být důležité pro definování pořadí zpracování zakázek v rámci fronty se zakázkami sloučenými dle podobnosti KP.

Pozn.: V technologických postupech je nutno uvádět přípravné časy tak, jako kdyby bylo nutno vždy měnit kompletní seřízení stroje. Tímto se při plánování jistíme proti nejhorší možné variantě. Ve frontě totiž nemusí být vždy nějaká podobná zakázka, která umožní slučování dle podobného KP.

Z dosud uvedeného by se mohlo zdát, že by zakázky měly být ve frontě primárně řazeny podle své technologické podobnosti, abychom dosahovali časových úspor. Otázkou pak je, proč vůbec uplatňovat dříve zmiňované řazení zakázek dle priorit přiřazených na základě zpoždění oproti plánu. Důvod je jednoduchý a je jím paradox, který se při slučování zakázek dle KP vyskytuje.

Cílem slučování bylo snížit časovou náročnost zpracování zakázek na pracovišti pomocí uspořené přípravných časů nutných pro seřízení. Tím se zvyšuje průtok kanálem obsluhy, neboli zvyšujeme intenzitu výstupu z pracoviště. I přes to však může u některých zakázek reálně dojít k ohrožení termínů dokončení. Důvodem je to, že kvůli změněnému pořadí ve frontě nejsou vždy zpracovávány zakázky, u kterých je to termínově nutné. Mohou být upřednostňovány zakázky z konce fronty, které se v hodnotě KP shodují s jinými zakázkami. Tím se ve své podstatě předběhnou oproti plánu na úkor jiných, které naopak naberou zpoždění. Globálně tedy sice zvýšíme průtok, avšak paradoxně ohrozíme u některých zakázek termín dokončení, zatímco jiné zakázky se proti plánu předběhnou.

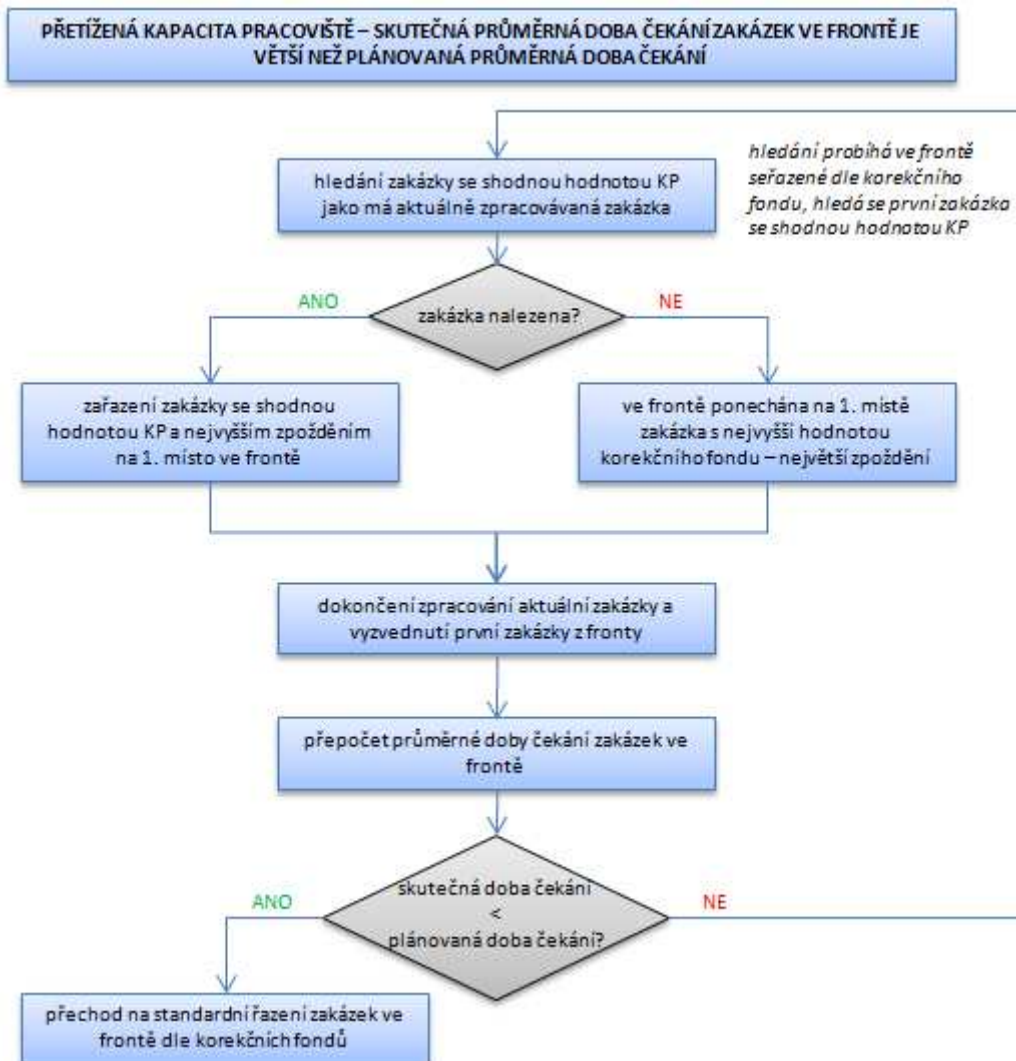
Je nutné uvést, že slučování zakázek podle jejich podobnosti je myšlenka, která se ve skutečné výrobě běžně používá. Bohužel rozhodnutí o sloučení zakázek probíhá spíše intuitivně, což samozřejmě není správné. Slučovat zakázky ve chvíli, kdy je kapacita pracoviště dostatečná, je zbytečné.

Na druhou stranu striktní řízení pořadí zpracování zakázek dle korekčního fondu cíleně neumožňuje optimalizovat přípravné časy. Každý z přístupů má své výhody i nevýhody a je potřeba správně určit, pro kterou situaci ve výrobě bude daná strategie vhodnější.

Standardní pořadí řazení zakázek ve frontě by mělo probíhat dle korekčních fondů (porovnání skutečného časového průběhu s průměrným plánem), protože to více směřuje k dodržení požadovaných termínů. V případě kapacitního přetížení pracoviště je očividné, že termíny všech čekajících zakázek jsou v ohrožení, a proto je nutno zvýšit průtok zakázek pracovištěm, a délku fronty tak redukovat. Po dosažení plánované délky fronty je možno se opět vrátit k řízení dle priorit.

Stále však není zcela vyřešena otázka způsobu slučování zakázek. Samozřejmě se v rámci fronty sloučí zakázky s podobnou hodnotou KP. Avšak je potřeba určit pořadí zpracování takto sloučených zakázek. Je nutné skupiny vzájemně seřadit. To je možno učinit více způsoby. Jako první se nabízí způsob, kdy je na první místo ve frontě zařazena skupina, která vykazuje nejvyšší možnou úsporu při sloučení zakázek. Takto jsou postupně seřazeny i ostatní sloučené zakázky dle ohodnocení úspory. Tímto způsobem však mohou být vážně ohroženy termíny zakázek.

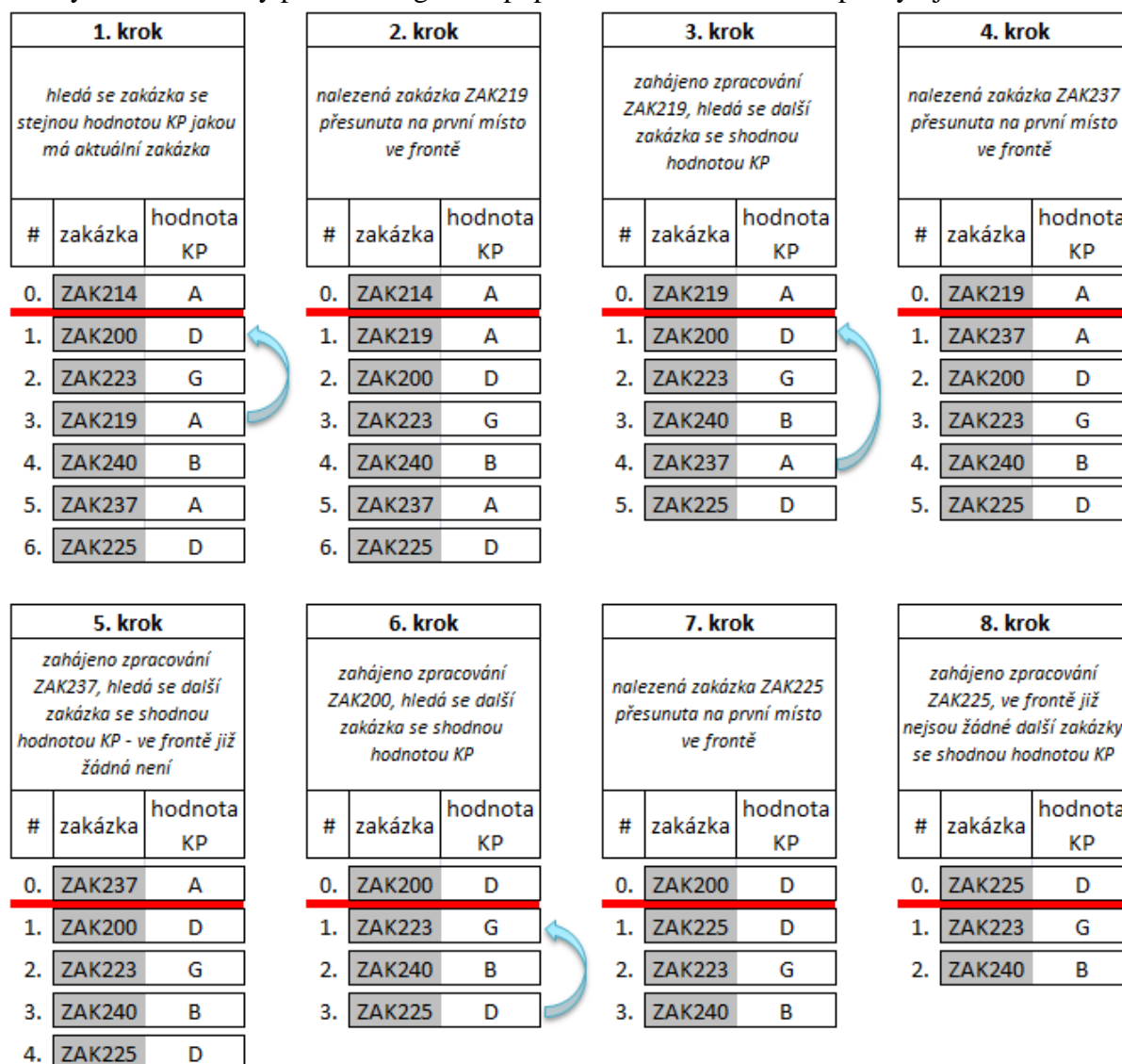
Z hlediska dodržení termínů může být přijatelnější jiný typ řazení. Zakázky jsou při něm seřazeny standardně dle hodnoty korekčních fondů. Avšak při uvolnění úkolu z fronty je hledána zakázka, která s ním má shodné nastavení. Jestliže je taková zakázka nalezena, je v rámci fronty přesunuta na první místo. V okamžiku jejího uvolnění je potřeba provést přepočítání průběžné doby čekání. Pokud klesla pod kritickou mez, je možno se vrátit zpět do běžného režimu řízení dle zpoždění zakázek. Pokud přetrvává kapacitní přetížení pracoviště, je nutno pokračovat dále ve slučování. Proto by měla být hledána další zakázka mající shodné nastavení s aktuálně zpracovávanou zakázkou. Jestliže žádná taková již ve frontě není, mělo by se pokračovat se zpracováním další zakázky čekající ve frontě (dle korekčního fondu). K ní by měla být opět hledána zakázka se shodným KP. Srozumitelnější výklad poskytuje schéma:



Obr. 4-38 Řazení zakázek ve frontě při slučování dle jejich technologické podobnosti

Při uvedeném způsobu řízení zakázek není v okamžiku překročení plánované průměrné doby čekání zakázek ve frontě provedeno automatické sloučení všech čekajících zakázek, jako tomu bylo u prvního navrhovaného způsobu. Naopak pořadí zakázek je ponecháno jako při řízení dle korekčních fondů. Avšak pokud ve frontě existuje zakázka se stejnou hodnotou KP jako má aktuálně zpracovávaná zakázka, je tato ve frontě zařazena na první místo. Pokud je ve frontě více zakázek se stejným KP, vybírá se z nich v daném okamžiku vždy pouze jedna, a to ta s největším zpožděním dle korekčního fondu. Pokud by po společném zpracování aktuální a předřazené zakázky stále neklesla skutečná doba čekání pod plánovanou, vybírá se

z fronty další zakázka se shodným KP. Jinak řečeno, základní řazení probíhá dle korekčních fondů a aktuálně zpracovávaná zakázka si k sobě z fronty dotahuje nejbližší zakázku se shodným KP. Náznorný příklad fungování popisovaného mechanismu poskytuje obrázek:



Obr. 4-39 Vysvětlení navrhovaného způsobu řízení pořadí fronty (kombinace slučování a řízení dle priorit)

Dá se předpokládat, že druhý navrhovaný způsob by měl lépe zajišťovat termíny zakázek, protože kombinuje jak slučování dle technologické podobnosti, tak i řazení dle korekčních fondů. Oproti prvnímu způsobu hromadného jednorázového sloučení a seřazení takto vzniklých skupin podle úrovně časové úspory druhý navrhovaný způsob provádí slučování průběžně.

4.5.3 Návrh praktické realizace

Až dosud byly popisovány teoretické algoritmy, kterými by se mělo řídit zpracování zakázek jak v přípravné fázi, tak i ve výrobní fázi. Důležitým aspektem je však také praktická realizovatelnost navrhovaného řešení.

Výpočet průměrných časových průběhů zpracování jednotlivých zakázek, které se provádí v přípravné fázi, není sám o sobě příliš obtížný. Může k tomu posloužit běžný tabulkový procesor dostupný v každé kanceláři. Ideální by samozřejmě bylo zahrnutí do IS především

z důvodu importu vstupních dat do kalkulace. Nicméně běžné IS disponují funkcemi exportu dat například do formátu *.xls, a tak se hlavním problémem stane pouze převod dat z výstupního souboru vygenerovaného informačním systémem do kalkulačního souboru.

Důležité je definování vstupních informací, které musí být k dispozici pro provedení výpočtů. Pro přípravnou fázi jsou potřebná tato základní data:

- termín zakázky;
- požadovaný počet kusů;
- hodnocení důležitosti zákazníka;
- nákladnost zakázky;
- technologický postup výroby
 - rozpis a pořadí výrobních operací,
 - přípravné časy jednotlivých operací,
 - jednotkové časy jednotlivých operací,
 - rizikovitost jednotlivých operací,
 - hodnota klíčového prvku pro případné slučování zakázek ve frontě;
- směnnost na požadovaných pracovištích;
- poruchovitost požadovaných pracovišť (MTBF, MTTR);
- průměrná doba čekání zakázky ve frontě před jednotlivými pracovišti.

Některá z uvedených dat jsou běžně dostupná nebo vyplývají přímo z objednávek (termín, požadovaný počet kusů apod.). Jiná data se sbírají jen v některých podnicích (MTBF, MTTR, rozpad na dávkové a jednotkové časy) a zbytek je potřeba teprve zavést (průměrná doba čekání požadavku ve frontě, klíčový prvek). Přesto se však nejedná o informace, které by mělo být obtížně v běžných podnicích sehnat.

Na základě všech těchto sebraných informací by měla být provedena kalkulace časového průběhu zakázky, z níž by měly být získány následující výstupy:

- počet kusů zadaných do výroby s ohledem na rizikovitost výrobního procesu,
- časový odhad průměrného trvání jednotlivých výrobních operací,
- průměrné časy čekání zakázky ve frontách před jednotlivými pracovišti,
- definování kontrolních bodů průběhu zpracování zakázky – milníky,
- termín uvolnění zakázky do výroby.

Na data definovaná v přípravné fázi navazuje fyzické řízení zakázek ve výrobě. Při tom se sleduje, jak se skutečný průběh odchyluje od plánu, a podle toho dochází ke korekcím. Plán je známý, avšak je potřeba získat informace o skutečném průběhu (zpětná vazba z výroby).

Objem dat by neměl být zbytečně velký, aby nepředstavoval velkou administrativní zátěž pracovníků ve výrobě. Sbíraná data by měla do určité míry zrcadlit data z přípravné fáze, aby bylo možno provádět porovnání. Základní informace získávané z výroby by měly být tyto:

- časy průchodů jednotlivými milníky (doby trvání aktivních a pasivních stavů),
- počet čekajících zakázek ve frontách,
- počet poruch za určité období a doby jednotlivých oprav.

Jako další vhodné mohou být:

- počet vyrobených kusů,

- počet neshodných výrobků,
- pracovník provádějící operaci.

Ze základních dat by měla být provedena kalkulace, jejíž výsledky by se měly dostat zpět do výroby:

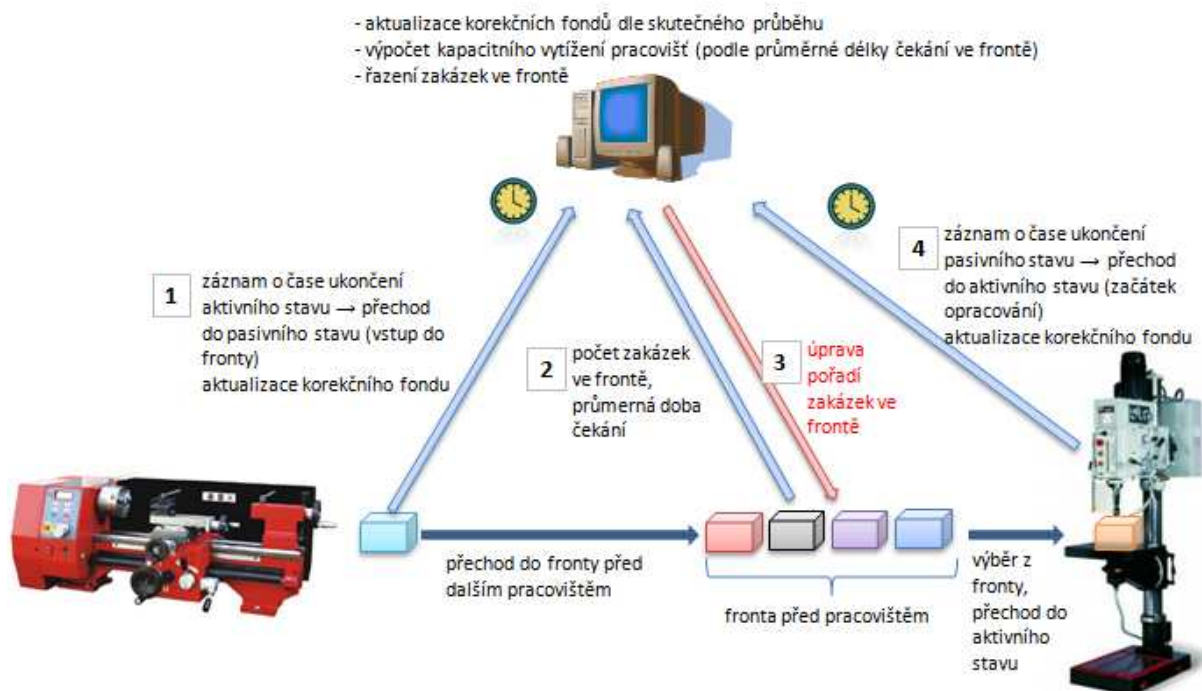
- hodnoty korekčních fondů zakázek určující pořadí zakázek ve frontě,
- nastavení chování fronty na řazení dle korekčních fondů nebo na slučování zakázek při přetížení kapacit.

V praxi existuje více možností, jak provádět operativní evidenci výroby. Forma může být v základu jak papírová, tak může být využito i počítačové podpory. Výhodou papírové evidence jsou nízké náklady na zavedení. Avšak zapsaná data je stejně nutné následně zadat do počítače, aby bylo možno provádět efektivně jejich vyhodnocení. Tímto způsobem však není možno získat skutečně rychlou zpětnou vazbu. Pro správné řízení výroby jsou aktuální informace důležité, jinak jsou rozhodnutí uskutečňována na základě spíše historických dat. Pro fungování popisovaného modelu je navíc potřeba nejen data z výroby získávat, ale také je rychle vyhodnocovat a výstupy vracet zpět.

Z těchto důvodů se jeví jako výhodnější elektronická evidence výroby. Otázkou je pak způsob konkrétní fyzické realizace. Ceny výpočetní techniky jsou v dnešní době poměrně nízké, proto by nemělo být problémem pořídit do výroby počítačové terminály buď na každé pracoviště, nebo na každou skupinu pracovišť nebo na dílny. Záleží na vzdálenostech, potřebném počtu terminálů apod.

Počítač by měl umožnit snadno identifikovat zakázku a fázi jejího výrobního procesu. Je ideální, pokud jsou tato data interpretována čárovými kódy, které je možno snadno sejmout čtečkou, a není nutno provádět zadávání pomocí klávesnice, což je časově náročnější. U některých informací se přesto klávesnici nevyhne (např. počty kusů apod.). Zároveň by bylo vhodné, kdyby počítač umožnil zadávat poruchy na výrobních zařízeních. Bylo by se tak možné vyhnout papírové evidenci.

Základní informační tok mezi výrobou a počítačovým terminálem vysvětluje obrázek. Je na něm vidět zaznamenání času, kdy byla dokončena výrobní operace na zakázce. Na základě porovnání skutečné doby trvání operace s plánem je provedena aktualizace jejího korekčního fondu (1). Zakázka nyní přechází do fronty před dalším pracovištěm. Protože tím dochází ke změně fronty, je potřeba provést nový výpočet průměrné doby čekání požadavků na obsluhu (2). Na základě výsledku výpočtu a vzájemného porovnání korekčních fondů dojde k určení nového pořadí zakázek ve frontě (3). Následně je z fronty vybrána první čekající zakázka, aby na ní byla provedena výrobní operace. Čas vyzvednutí z fronty je zaznamenán do počítače (4), aby bylo možno po dokončení operace vypočítat dobu trvání jejího aktivního stavu a porovnat ji s plánem.



Obr. 4-40 Základní materiálový a informační tok

Jak je vidět, požadavky na evidenční systém nejsou vysoké. Je pouze nutné zaznamenávat čas dosažení milníků u jednotlivých zakázek, evidovat čekající zakázky před pracovišti, přepočítávat korekční fondy zakázek a kapacitní vytížení pracovišť a aktualizovat pořadí zakázek ve frontě.

Pracovník by měl mít v každém okamžiku možnost získat ze systému informaci, která zakázka by měla být zpracována jako další (aniž by prováděl analýzy aktuální situace a na jejich základě subjektivní rozhodování). Tuto informaci si bude zjišťovat s určitým předstihem před dokončením zpracování aktuální zakázky, aby si mohl například dopředu objednat materiál nebo nástroje ze skladu. Pokud není možno první nabízenou zakázku z různých důvodů zpracovat, vybere si další z fronty. Samozřejmě přeskočený pracovní úkol bude nabývat na zpoždění, bude růst jeho korekční fond, a tím i jeho priorita. Výhodou je, že se takto umožňuje vyšší autonomie řízení výroby. Informace o pořadí pracovních úkolů je schopen získat a interpretovat i zaměstnanec obsluhující stroj, ne pouze řídicí pracovník. To je velmi důležité, protože ne vždy je mistr schopen řídit všechny pracovníky najednou a potřebuje do určité míry jejich samostatnost.

4.5.4 Shrnutí

Tato kapitola se zabývala popisem navrhovaného systému řízení zpracování zakázek v neopakované výrobě. Hlavním cílem bylo vytvoření modelu, který by byl jednoduchý a zároveň maximálně odolný vůči častým odchylkám, které jsou nedílnou součástí daného typu výroby.

Model se skládá ze dvou částí: přípravné a výrobní. V přípravné části je definován do určité míry idealizovaný časový průběh zpracování pro každou zakázku. Autor se staví k průběžné době výroby jako k součtu aktivních (opracování na stroji) a pasivních (čekání na opracování) stavů, ve kterých se zakázka během svého zpracování nachází. Přechody mezi těmito stavy jsou označovány jako milníky a slouží pro časové porovnávání plánu s realitou.

Výrobní fáze modelu se pak zabývá řízením zpracování zakázek přímo v provozu. To probíhá především na základě odchylek reality od plánu. Ty jsou zaznamenávány v tzv. korekčních fondech každé zakázky. Podle jejich velikosti je definováno pořadí čekajících zakázek ve frontě. Pořadí však může být měněno a to v případech, kdy je skutečná průměrná doba čekání zakázek ve frontě vyšší, než byl plán. V tom případě je pracoviště považováno za kapacitně přetížené a zakázky začnou být slučovány podle své technologické podobnosti, aby se snížily přípravné časy, a zvýšil se tím průtok výrobních úkolů pracovištěm.

Model se nesnaží poskytnout naprosto přesná data jako běžné plánovací moduly informačních systémů. Vychází z předpokladu, že kvalita vstupních dat je nízká, a proto ani ten nejdokonalejší algoritmus nedokáže vytvořit skutečně spolehlivý výrobní plán. Místo toho tedy vytváří hrubý idealizovaný plán, ve kterém nebere v úvahu pravděpodobné vzájemné časové kolize konkrétních úkolů na pracovištích. Řízení v reálném provozu se neodkazuje na výrobní plán, ale na konkrétní situaci, která v daném okamžiku nastala. Takto se může stát více autonomním, protože rozhodování mistra je do určité míry suplováno počítačem a informace se tak mohou stát dostupné i řadovým pracovníkům v provozu. Jedinou podmínkou je zpracování dat v reálném čase. Na druhou stranu odpadá složitá tvorba výrobního plánu.

5 OVĚŘENÍ VYBRANÝCH HYPOTÉZ NAVRHOVANÉHO MODELU

Obsahem této kapitoly je ověření funkčnosti navrženého modelu řízení zpracování zakázek popsaného v předchozí kapitole. Praktické ověření přímo v reálném chodu průmyslového podniku je problematické. Jedním důvodem je fakt, že by aplikace modelu vyžadovala poměrně zásadní zásah do samotné podstaty řízení výroby. Bylo by potřeba nastavit informační základnu (nastavit sběr všech podstatných dat), investovat do softwarové a hardwarové podpory, proškolit všechny dotčené zaměstnance a vystavit podnik určité míře nejistoty. Pravděpodobně by nebylo možné najít podnik, který by byl ochoten v krátké době spolupracovat na ověření funkčnosti modelu.

Druhým a hlavním důvodem, proč se autor rozhodl nezvolit pro ověření praktickou realizaci, je fakt, že se jedná o neopakovanou výrobu, ve které se nikdy neopakují stejné situace, jako je tomu například u sériové výroby. Z toho vyplývá, že nemůžeme zjistit, jak by se změnilы výsledky, pokud bychom se v dané situaci zachovali jiným než jedním zvoleným způsobem. Znali bychom tedy vždy pouze důsledky zvoleného rozhodnutí bez možnosti srovnání.

Z těchto dvou základních důvodů byla pro ověření navrženého modelu zvolena metoda počítačové simulace. Ta nevyžaduje významnější investice, v případě problémů vyplývajících z navrženého řešení neohrožuje zkoumaný systém a umožňuje prověřovat různé varianty řešení zkoumaných problémů.

Simulace se jeví jako vhodný nástroj i kvůli možnosti řešení složitějších dynamických úloh, kde se projevuje vliv času. Vzhledem k častým výkyvům, časovým kolizím a těžké predikovatelnosti neopakované výroby má tedy simulace významnou výhodu oproti analytickým metodám.

Pro tvorbu simulačních modelů byl zvolen software Plant Simulation od společnosti SIEMENS. Jedním z důvodů, proč byl software vybrán, je jeho dostupnost. Je používán na Katedře průmyslového inženýrství ZČU v Plzni a navíc společnost SIEMENS poskytuje i studentskou licenci. Dalším důvodem pro výběr tohoto softwaru bylo jeho jednoduché ovládání a možnost doprogramování potřebných metod, které umožňují nastavit fungování modelu přesně podle požadavků.

5.1 Ověření vztahu pro MASD

V přípravné fázi modelu řízení zpracování zakázek byla diskutována problematika vlivu různých druhů přerušení výroby na předpokládané časy výrobních operací. V jejich důsledku se může být doba uplynulá od zahájení operace do jejího dokončení výrazněji lišit od čisté plánované hodnoty. Pokud totiž během zpracovávání výrobního úkolu dojde k plánované či neplánované přestávce v chodu pracoviště, bude zakázka dokončena o tento čas později. Ačkoli se na výrobku v této době samozřejmě nepracuje a čistý výrobní čas odpovídá předpokladu, z hlediska plánování je doba trvání aktivního stavu zakázky na pracovišti delší.

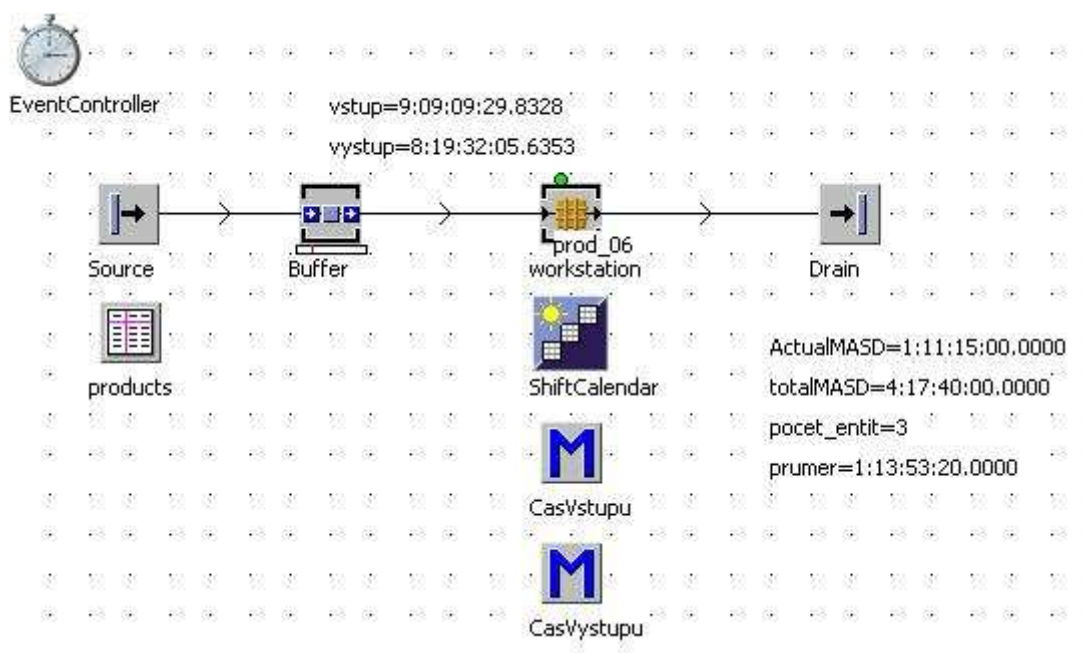
Na rozdíl od klasického plánování, kde časy započítání a ukončení operace vyplývají z vytvořeného detailního výrobního plánu, který by měl počítat s přerušováním chodu pracoviště, u navrhovaného modelu takový plán neexistuje a stanovuje se pouze průměrná doba trvání aktivního stavu zakázky na jednotlivých pracovištích. Ta samozřejmě v některých případech může být ovlivněna (prodloužena) různými přestávkami v činnosti pracoviště. Protože není možné určit, která zakázka bude postižena některým z různých přerušení, je

přirážka připočítávána paušálně ke všem pracovním úkolům (při zohlednění délky jejich předepsané čisté doby trvání). Čas trvání výrobní operace s připočtenou přirážkou prostojů pracoviště byl označen jako MASD. Pro výpočet hodnoty MASD na určitém pracovišti byl definován vztah (31).

Přitom se počítá, že v součtu by se měla celková průměrná přirážka rovnat průměrným přirážkám připočítávaným k jednotlivým zakázkám. Jinak řečeno, jestliže některé zakázky projdou bez přerušení, ušetří se tím připočtená přirážka, kterou je možno naopak kompenzovat zakázky, které měly delší zdržení, než byla stanovená průměrná přirážka.

Vztah pro výpočet MASD byl při svém odvození ukázán na jednoduchém příkladu. Je však potřeba jeho chování dále ověřit. Výpočtový vztah pracuje se třemi základními proměnnými: čistá doba trvání operace (x), doba trvání aktivního stavu pracoviště (y) a doba trvání pasivního stavu pracoviště (z). Na jejich základě se vypočítává MASD. Cílem bylo ověřit, zda pro různé hodnoty zadaných parametrů dává vzorec podobné výsledky jako simulace.

Pro tento účel byl sestaven jednoduchý simulační model. Jeho základem je jedno pracoviště, které zpracovává jeden typ výrobku. Provoz pracoviště je přerušovaný - je u něj nastaven určitý směnný model.



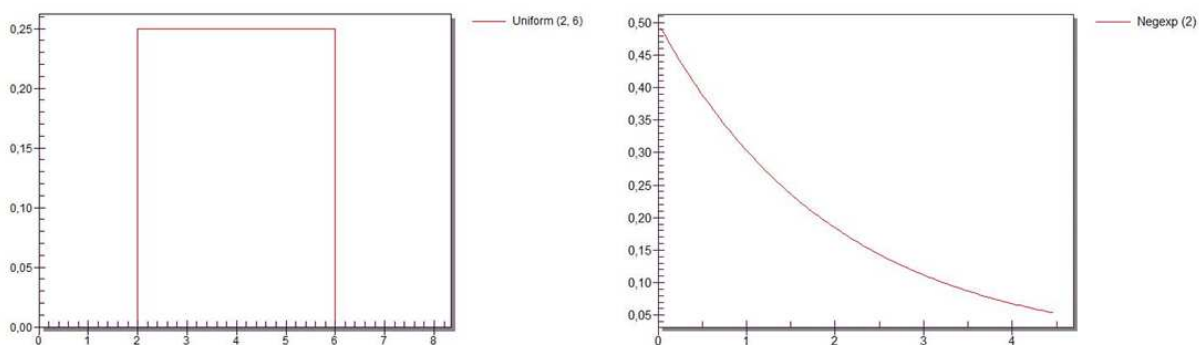
Obr. 5-1 Simulační model pro zjištění MASD

Doba opracování výrobku na pracovišti byla zadána jako konstantní pro všechny entity vyžadující obsluhu. To znamená, že nebyly uvažovány žádné odchylky při jednotlivých zpracováních tak, aby nezkreslovaly výslednou hodnotu MASD. Doba zpracování (x) byla postupně měněna od jedné hodiny až po 24 hodin. Tak bylo možné ověřit vztah pro všechny tři možné případy:

- $x < y$ ($x = 1-7$)
- $x = y$ ($x \dots 8$)
- $x > y$ ($x \dots 9-24$)

Tímto byly všechny základní parametry modelu nadefinovány. Avšak kromě toho se předpokládalo, že na výslednou hodnotu MASD může mít vliv i pravděpodobnostní rozdělení intervalů příchodu výrobků do systému. Proto byly ještě navíc testovány dva typy rozdělení: UNIFORM a NEGEXP. U rozdělení UNIFORM se předpokládá rovnoměrné rozdělení v rámci definovaného intervalu. Toto rozdělení bylo vybráno, protože odpovídá předpokladům, za kterých byl odvozen výchozí vztah pro MASD – stejná pravděpodobnost pro všechny možné případy okamžiku vstupu požadavku do fronty.

To u NEGEXP neplatí. Toto exponenciální rozdělení se často využívá v modelech hromadné obsluhy a je považováno za vhodné pro modelování doby čekání na výskyt určitého jevu. Z tohoto důvodu bylo vybráno jako druhá varianta.



Obr. 5-2 Srovnání hustoty výskytu pro rozdělení UNIFORM a NEGEXP
[náповěda simulačního softwaru Plant Simulation]

Hodnoty parametrů pro oba typy rozdělení byly nastaveny tak, aby se v modelu pohybovala v daném okamžiku vždy jen jedna entita, a nedocházelo tak ke vzájemným kolizím a z toho plynoucímu čekání na obsluhu – to by opět ovlivnilo výslednou hodnotu, kterou se snažíme očistit od všech jiných než zkoumaných vlivů (x, y, z).

Aby byl minimalizován také vliv generování náhodných čísel v simulačním softwaru, byly pokusy pro dané nastavení parametrů (x, y, z) prováděny opakovaně s různými hodnotami násad pro generátor. Okamžiky vygenerování entit a jejich vstupu do systému se tedy lišily i při stále stejném nastavení pravděpodobnostního rozdělení. Výsledky z jednotlivých běhů pro různé násady generátoru byly zprůměrovány.

Jako výstupní statistika byla měřena doba, kterou strávila zakázka na pracovišti. Pro každou entitu byl zaznamenáván čas jejího vstupu na pracoviště (zahájení opracování) a po dokončení opracování byl opět zaznamenán čas jejího výstupu. Odečtením těchto dvou hodnot byla zjištěna doba strávená na pracovišti. Doby opracování pro jednotlivé zakázky byly průběžně sčítány a děleny počtem entit, které dosud prošly systémem. Výsledkem byla průměrná doba opracování se zahrnutím odstávek v provozu pracoviště – tedy vlastně zkoumaná hodnota MASD. Tu pak bylo možno porovnat s teoreticky vypočtenou hodnotou pro dané nastavení parametrů (x, y, z).

V zásadě se bylo možno u takto sestaveného výchozího modelu, kde byl nastaven pouze jediný typ odstávky – neaktivní směna/y – setkat jen s dvěma hodnotami doby trvání opracování:

- předepsaná čistá hodnota (zakázka nebyla postižena přerušením výroby),
- předepsaná čistá hodnota + přerušování výroby (chod pracoviště byl během zpracování zastaven).

Samozřejmě výjimkou byly zakázky, kde hodnota x výrazněji převyšovala y , a mohlo tak dojít k více než jednomu přerušení výroby.

Na výslednou hodnotu MASD měl tedy zásadní vliv poměr mezi přerušenými a nepřerušenými zakázkami. Ten byl zase dále ovlivněn okamžiky, kdy vstoupily entity do systému. Díky tomu, že okamžiky vstupu entit do systému měly pravděpodobnostní charakter dle zvoleného rozdělení (UNIFORM nebo NEGEXP) a navíc byla měněna násada u generátoru náhodných čísel, měla by se modelovaná situace blížit reálnému systému.

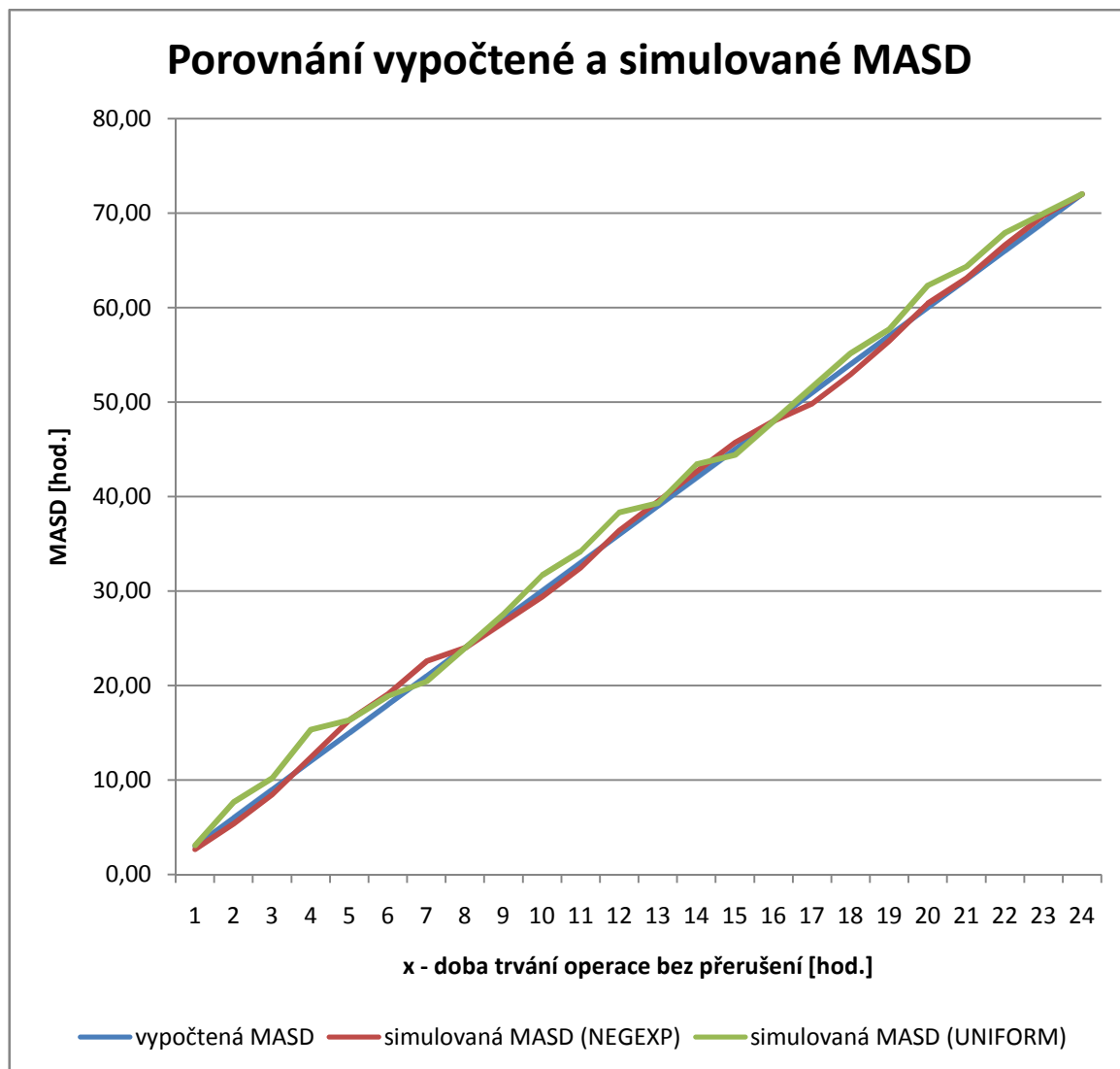
Pozn.: Výsledky simulace byly zjišťovány ve všech případech po průchodu 100 entit systémem.

5.1.1 Jednosměnný provoz:

Při prvním pokusu byl u pracoviště nastaven jednosměnný model:

- $y = 8$ hodin
- $z = 16$ hodin

Nebyly uvažovány žádné další jiné typy odstavek jako například pauza na oběd, zahájení směny apod. Jak již bylo zmíněno, hodnota doby opracování (x) se postupně měnila po jedné hodině od 1 až do 24 hod. Porovnání teoreticky vypočtených MASD s výsledky simulace přináší následující graf. Hodnoty získané při jednotlivých simulačních bězích jsou uvedeny v příloze (viz Příloha A - výsledky simulačních experimentů pro ověření MASD).



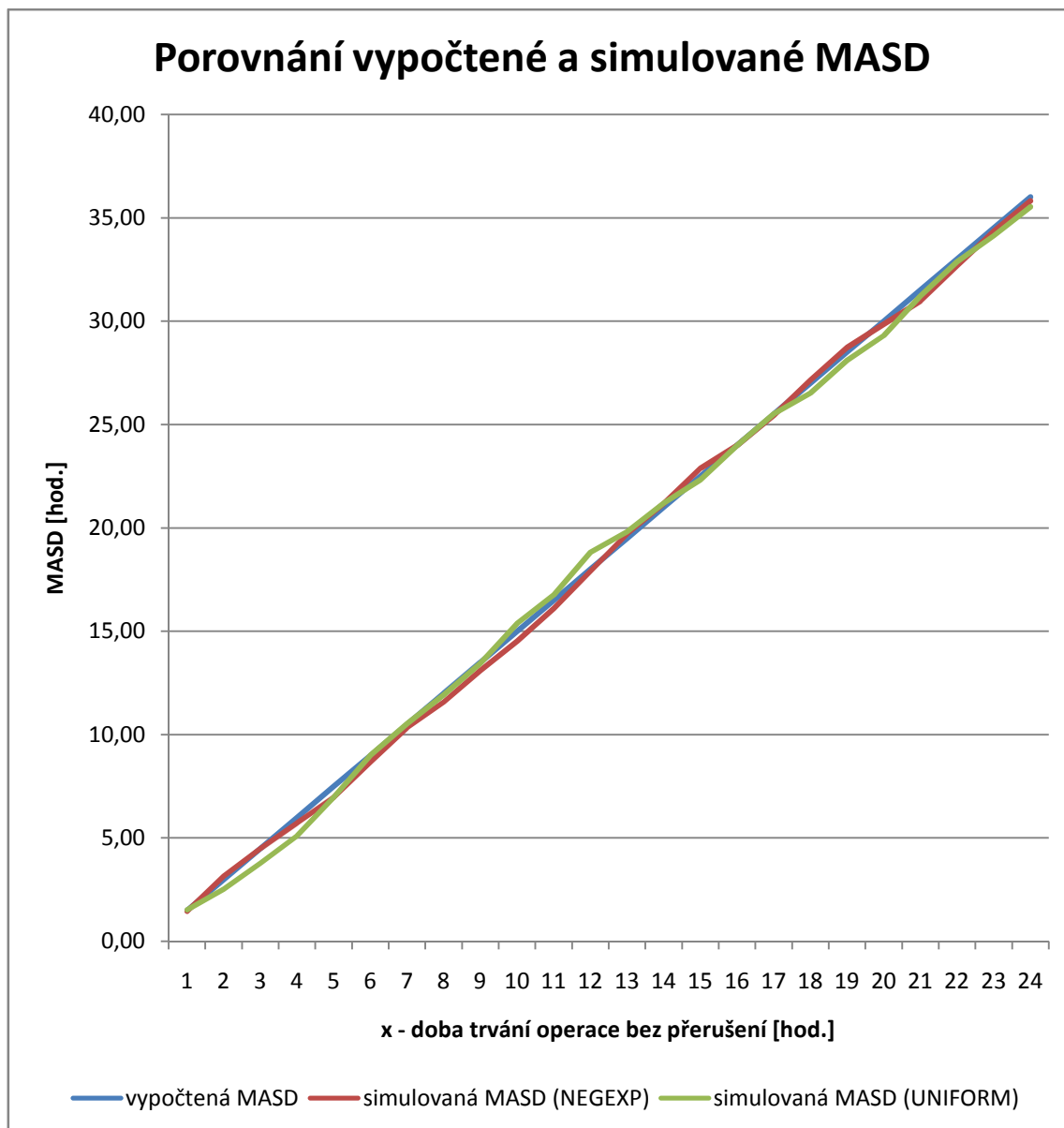
Graf 5-1 Porovnání výsledků MASD (výpočet x UNIFORM x NEGEXP) – jednosměrný provoz

5.1.2 Dvousměrný model

Při druhém pokusu se změnil chod pracoviště na dvousměrný (opět bez uvažování dalších typů přestávek). Cílem bylo zjistit, jak se model chová při opačném poměru mezi parametry y a z .

- $y = 16$ hodin
- $z = 8$ hodin

Výsledky experimentů jsou opět uvedeny v příloze (viz Příloha A - výsledky simulačních experimentů pro ověření MASD). Jejich grafickou reprezentaci pak představuje následující graf:



Graf 5-2 Porovnání výsledků MASD (výpočet x UNIFORM x NEGEXP) – dvousměnný provoz

Z výsledků obou pokusů bylo zjištěno, že odchylky teoreticky vypočtených hodnot od těch, které byly zjištěny simulací, nejsou nijak zásadní. To platí pro oba typy pravděpodobnostních rozdělení. Procentuelní odchylky se pohybovaly od nuly do maximálně 28% (a to pouze v několika málo případech). Vzhledem k malé spolehlivosti ostatních vstupních dat je tato odchylka naprosto vyhovující. Z výsledků je také vidět, že vztah je použitelný pro všechny případy $x < y$, $x = y$ i $x > y$.

Z porovnání výsledků prvního a druhého pokusu se zdá, že větší přesnosti je dosaženo s rostoucím poměrem y/z . Dá se tedy předpokládat, že čím je objem přerušení chodu pracoviště z menší, tím je menší jeho vliv a teoreticky vypočtené hodnoty budou blíže realitě.

Zároveň se během porovnávání výsledků zjistilo, že je lepší počítat MASD v menších jednotkách (například sekundách) než například v hodinách. Menší jednotky umožňují získat jemnější výsledek, což názorně ukazuje následující příklad:

- x ... 3 hod. = 10 800 s
- y ... 16 hod. = 57 600 s
- z ... 8 hod. = 28 800 s

Výpočet v hodinách:

$$MASD = 4 \text{ hod.}$$

Výpočet v sekundách:

$$MASD = 16199,5 \text{ s}$$

Po převodu na hodiny:

$$MASD = 4,49986 \text{ hod.}$$

Je tedy vidět, že jednotky mohou mít na výsledek velký vliv.

5.1.3 Dvousměnný model s přestávkami

V kapitole o MASD byla vyslovena hypotéza, že není potřeba uvažovat každý typ přerušení chodu pracoviště zvlášť, ale je možno například v rámci dne všechny přestávky sečíst a uvažovat pouze jedno kumulativní z za celý den. Toto tvrzení bylo potřeba tedy také ověřit. Byl využit stávající model pouze s úpravou času činnosti pracoviště v rámci dne. Vyšlo se z dříve nastaveného dvousměnného modelu, do kterého byly navíc vloženy následující přestávky:

	denní rozvrh:		
	noční směna	ranní směna	odpolední směna
začátek směny	nepracuje	6:00	14:00
konec směny		14:00	22:00
přestávka 1 - zahájení směny		6:00 - 6:10	14:00 - 14:10
přestávka 2 - oběd		10:30 - 11:00	18:00 - 18:30
přestávka 3 - úklid na konci směny		13:45 - 14:00	21:45 - 22:00

Tab. 5-1 Nastavení přestávek

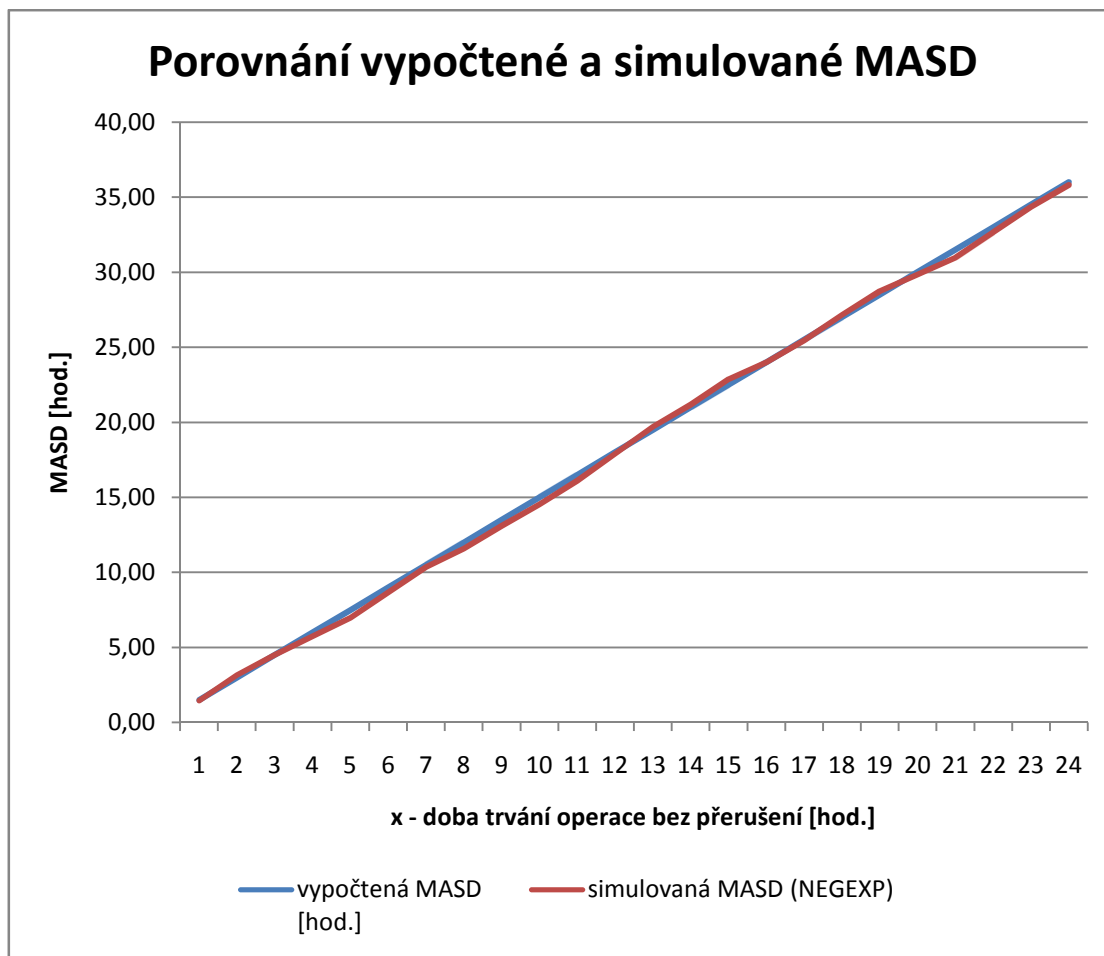
Na základě toho pak vyšly nové hodnoty parametrů y a z:

- y ... 14,1667 hod. (51 000 s)
- z ... 9,8333 hod. (35 400 s)

Zpracování zakázky tak může být postiženo jak přerušením v rámci neaktivní noční směny, ale také pauzami na oběd nebo nečinnostmi pracoviště na přelomu směn. Podle toho bude vycházet i různé prodloužení doby opracování v závislosti na typu přerušení, které zakázky potká.

Cílem pokusu bylo zjistit, zda nevznikne významnější odchylka teoreticky vypočtené hodnoty od výsledků simulace.

Pozn.: Protože nebyly zjištěny výraznější odchylky při použití UNIFORM a NEGEXP rozdělení, bylo použito pouze rozdělení exponenciální.



Graf 5-3 Porovnání výsledků MASD – dvousměnný provoz s přestávkami

Na základě zjištěných výsledků se dá hypotéza označit za potvrzenou. Odchytky byly dokonce ještě menší než v případě, kdy nebyla uvažována jiná přerušení než ta v rámci neaktivních směn (pokus 1 a 2). Dá se také předpokládat, že výsledky teoretických výpočtů budou v rámci delších sledovaných časových horizontů relevantní i v případě neplánovaných přerušení výroby (poruchy), kterými se poníží aktivní stav pracoviště y, jak bylo uváděno v rámci výpočtu dostupnosti A.

5.2 Porovnání řízení dle priorit a FIFO

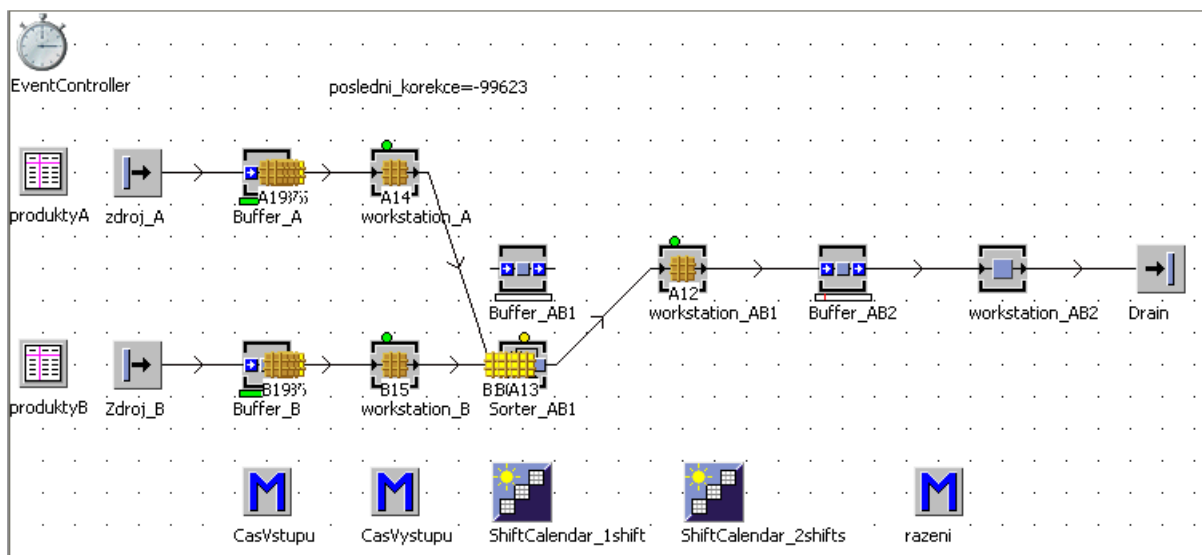
Dalším předpokladem, který je potřeba ověřit, je vhodnost řízení pořadí zpracování zakázek dle jejich priorit, které bylo diskutováno ve výrobní fázi modelu.

Základem pro seřazení čekajících zakázek ve frontě by měly být priority, které jsou vypočítány na základě odchylek jejich skutečného časového průběhu výrobou vůči průměrnému plánu stanovenému v přípravné fázi. Čím je větší zpoždění, tím se zvyšuje priorita zakázky, a ve frontě je řazena více na začátek. To by mělo umožnit automaticky provádět korekce s cílem maximálního možného přiblížení se k plánu.

5.2.1 Výchozí model

Simulace by měla porovnat chování modelu při použití výběru z fronty v prvním uvažovaném případě dle strategie FIFO a ve druhém uvažovaném případě dle priorit. Pro tento účel byl

vytvořen model pracující se dvěma druhy výrobků A a B. Ty jsou generovány různými zdroji. Pro první operaci vyžadují výrobky A a B odlišná pracoviště - „workstation_A“ a „workstation_B“. Naopak při druhé a třetí operaci již procházejí stejnými pracovišti. To znamená, že materiálový tok se sbíhá před druhým pracovištěm v technologickém postupu – označeném jako „workstation_AB1“, kde se tvoří smíšená fronta. Zde opracované výrobky pak míří dále na poslední pracoviště „workstation_AB2“ a po průchodu odcházejí ze systému. Následující obrázek představuje sestavený simulační model:



Obr. 5-3 Simulační model pro porovnání výběru z fronty dle FIFO nebo priorit

Pracoviště „workstation_A“ a „workstation_B“ vnášejí do průběhu zpracování zakázek drobné odchylky (při základním nastavení $\pm 0,5$ č.j.) díky nastavenému triangulárnímu rozdělení, které bylo použito pro stanovení času opracování. Zakázky, které pak přicházejí do společné fronty před pracovištěm „workstation_AB1“, jsou tedy již ve většině případů odchýlené od plánu a získávají rozdílnou prioritu. Odchyškám ještě více nahrávají různé směnné modely:

- „workstation_A“ ... jednosměnný provoz, střední hodnota času opracování = 4 č.j.,
- „workstation_B“ ... dvousměnný provoz, střední hodnota času opracování = 8 č.j.,
- „workstation_AB1“ ... dvousměnný provoz, střední hodnota času opracování = 4 č.j.

Z uvedených hodnot vyplývá, že MASD pro „workstation_A“ i „workstation_B“ jsou shodné, protože ačkoli se liší časy aktivního stavu pracoviště, vše je dorovnáno rozdílnými časy opracování. Pracoviště „workstation_AB1“ má pak dvojnásobnou kapacitu, aby zvládlo obsloužit výstupy z obou předchozích pracovišť, ale zároveň se před ním mohla v určitých okamžicích tvořit fronta.

Pro modelování fronty před druhým pracovištěm a logiky výběru z ní podle FIFO, nebo podle priorit byly použity dva různé typy objektů:

- buffer ... pouze shromažďuje příchozí zakázky a na pracoviště je uvolňuje v pořadí jejich příchodu (FIFO);
- sorter ... shromažďuje příchozí zakázky a při změně (vstup / výstup entity) vzájemně porovnává priority všech čekajících entit a podle nich mění jejich pořadí (PRI).

Podle zkoumané situace byl materiálový tok veden buď přes „buffer_AB1“, nebo přes „sorter_AB1“. Při výpočtu celkové priority zakázky se uvažuje nejen odchylka, kterou zakázka získala na první operaci, ale připočítává se také čas doposud strávený čekáním ve frontě před druhým pracovištěm tak, jak to bylo uvedeno v teoretickém popisu modelu.

Nutnost zahrnutí času čekání v aktuální frontě se potvrdila i během simulace. Objevila se totiž situace, kdy se zakázka předběhla na první operaci proti plánu, a do fronty před druhou operací tak vstupovala s nižší prioritou. Díky tomu ji všechny další zakázky ve frontě přeskakovaly. Protože se však nezohlednilo čekání v aktuální frontě, které by mělo postupně zvyšovat její prioritu, nebyla zakázka z fronty uvolněna až do okamžiku, kdy ve frontě zůstala jako jediná, a její termín dokončení tak samozřejmě nemohl být dodržen.

Výpočet priority byl řešen pomocí naprogramovaných metod. Ty zjišťovaly čas vstupu entity do systému a čas vstupu entity do fronty před pracovištěm „workstation_AB1“. Jejich rozdíl odečtený od jednotné hodnoty plánované doby pak tvořil dosavadní korekční fond. Při každé změně ve frontě pak bylo navíc zjišťováno aktuální čekání všech zakázek ve frontě, které se připočetlo k dosavadnímu korekčnímu fondu. Tím byla získána hodnota priority pro řazení pomocí objektu sorter.

Pro každý simulační běh bylo vygenerováno dvacet entit typu A a dvacet entit typu B. Model byl navržen tak, že každému výrobku A či B byly přiřazeny náhodně vygenerované termíny dokončení (zůstávají stejné pro všechny simulační běhy). Ačkoliv jsou termíny různé, pro odpovídající si dvojice výrobků A a B jsou vždy shodné. Například výrobky A01 a B01 mají stejný termín dokončení v čase 107 č.j. Díky teoreticky stejné průběžné době výroby jsou rovněž vygenerovány ve stejný okamžik. Avšak okamžik jejich vstupu do společné fronty před pracovištěm „workstation_AB1“ se již liší. Důvodem je rozdílný směnný model na pracovištích „workstation_A“ a „workstation_B“. Zároveň může dojít k různé odchylce času opracování díky nastavenému triangulárnímu rozdělení.

Pro jednotlivé běhy modelu se mění hodnota teoretické průběžné doby výroby, která je stejná pro všechny uvažované výrobky. To má za následek různé okamžiky vygenerování entit a jejich vpuštění do systému při jednotlivých pokusech.

Základem pro určení průběžné doby výroby byly výrobní časy na jednotlivých pracovištích a směnné modely. Na jejich základě byly vypočteny hodnoty MASD pro všechna pracoviště. K jejich součtu bylo následně připočítáváno teoretické čekání. To se v jednotlivých simulačních bězích vždy zvyšovalo po jedné časové jednotce od jedné až do padesáti. Tím pádem byly výrobky uvolňovány do výroby čím dál tím dříve a měly tak více času na průchod výrobou. Díky tomu se samozřejmě postupně zvyšoval počet zakázek, které byly dokončeny včas, a docházelo i k jiným kolizím ve frontách.

Aby bylo možno hodnotit výsledky, byl jako atribut každé entitě přiřazen požadovaný čas dokončení. Pomocí naprogramované metody pak bylo při výstupu entity z modelu provedeno porovnání aktuálního simulačního času vůči tomuto atributu. Pokud byl aktuální čas nižší než požadovaný termín, byla zvýšena hodnota proměnné sledující počet včas dokončených zakázek. Tyto počty byly sledovány zvlášť pro výrobky A a B. Počty včas dokončených zakázek byly považovány za základní výstupní ukazatel. Výsledky první sady pokusů zobrazuje tabulka Tab. B-1 (viz Příloha B – výsledky simulace pro porovnání řízení dle FIFO a dle priorit)

Z provedených experimentů bylo zjištěno, že celkový počet včas dokončených zakázek A a B byl ve všech padesáti případech stejný, a to jak pro řízení dle FIFO, tak i pro řízení dle priorit. Jediným rozdílem byl v několika málo případech odlišný poměr mezi počtem včas dokončených A a B, avšak součet byl ve výsledku vždy stejný. Důvodem, proč byly získány

tyto výsledky, byla pouze malá odchylka v čase zpracování ($\pm 0,5$ č.j.). Vzhledem k tomu probíhalo zpracování výrobků A a B na pracovišti „workstation_AB1“ vždy střídavě. Proto byly provedeny rovněž experimenty s větší hodnotou odchylky až ± 4 č.j. Výsledky byly opět stejné pro FIFO i PRI.

5.2.2 Model s nesouměrnými odchylkami časů opracování

Protože tyto výsledky měly nízkou vypovídací hodnotu, byla provedena další sada experimentů. V ní byly u pracovišť „workstation_A“ a „workstation_B“ nastaveny jiné parametry triangulárního rozdělení pro čas opracování. Zatímco až doposud byly hodnoty maxima a minima souměrné podle nejpravděpodobnější hodnoty, nově byly nastaveny nesouměrně:

- „workstation_A“ ... TRIA (4,1,5),
- „workstation_B“ ... TRIA (8,7,16).

Pozn.: zápis triangulárního rozdělení má toto pořadí parametrů:

TRIA (*nejpravděpodobnější hodnota, minimum, maximum*)

Z uvedených hodnot vyplývá, že na „workstation_A“ bude obvykle docházet k rychlejšímu než plánovanému opracování, zatímco na pracovišti „workstation_B“ bude docházet ke zpoždění.

Tabulka Tab. B-2 (viz Příloha B – výsledky simulace pro porovnání řízení dle FIFO a dle priorit) uvádí porovnání výsledků pro variantu při použití objektu buffer (výběr dle FIFO) a pro variantu se sorterem (výběr dle priorit).

Při tomto nastavení se již objevily zajímavější výsledky. Lišil se nejen celkový počet včas dokončených zakázek typu A a B, ale rovněž vzájemný poměr. Ukázalo se, že při nižších plánovaných průběžných dobách výroby bylo dokončeno celkově více zakázek při uvolňování zakázek dle FIFO. Nicméně při větším předstihu uvolnění zakázky do výroby se situace jevila jako vhodnější pro řízení dle priorit. Při porovnání počtu pokusů, v nichž „zvítězilo“ uvolňování dle FIFO oproti PRI, by se mohlo zdát jako výhodnější FIFO.

Avšak je potřeba si povšimnout ještě jednoho skrytého jevu, kterým je rozdíl mezi počtem včas dokončených zakázek typu A a B. Ten je ve všech případech příznivější (nižší) pro prioritní řízení. To se snaží dokončovat rovnoměrně oba typy výrobků. Dle nastavení triangulárního rozdělení je zřejmé, že výrobky A se obvykle předbíhají proti plánu, zatímco u B je to naopak. Díky tomu výrobky A dorazí do fronty před pracovištěm „workstation_AB1“ ve většině případů dříve než výrobky B, i když MASD je na první operaci pro oba výrobky shodný stejně jako termín uvolnění do výroby. Uvolňování dle FIFO pak výrobky A předběhnuté proti plánu nijak nebrzdí a ponechává je naopak ve frontě stále před výrobky B, které dorazily kvůli zpoždění později. Výsledkem je tak další předbíhání ve zpracování výrobků A a opoždění zpracování výrobků B oproti plánu. Proto se při řízení dle FIFO dařilo dokončovat včas více zakázek. Byly přednostně dokončovány výrobky A na úkor dalšího zpoždění B.

Naproti tomu řízení dle priorit umožnilo rozpoznat zpoždění výrobku B a ve frontě ho upřednostnit oproti výrobkům A, které dorazily dříve. Změnou pořadí tak sice bylo dokončeno včas méně zakázek A, ale na druhou stranu došlo k rovnoměrnějšímu přibližování se jednotlivých zakázek k termínům.

5.2.3 Model řízený dle opačných priorit

Aby bylo ukázáno, že pouze celkový počet včas dokončených zakázek není sám o sobě plně vypovídající ukazatel kvality řízení, byla provedena další sada pokusů.

Vyšlo se z výsledků první sady experimentů, kde bylo nastaveno souměrné rozložení minima a maxima triangulárního rozdělení (odchylka $\pm 0,5$ č.j.). Byly převzaty výsledky při průchodu zakázek přes buffer, ale upravila se logika fungování sorteru. Zatímco až doposud byly přednostně z fronty vybírány zakázky s největším zpožděním, nyní se nastavilo upřednostňování zakázek s nejmenším zpožděním. Výběr tedy probíhá naprosto opačně proti běžné logice. Bylo provedeno všech padesát simulačních běhů, výsledky vybraných experimentů jsou uvedeny v Tab. B-3 (viz Příloha B – výsledky simulace pro porovnání řízení dle FIFO a dle priorit).

Navzdory běžným předpokladům bylo ve většině případů dokončeno více zakázek při řízení výběru z fronty dle obrácených priorit než při výběru dle FIFO. Navíc zde opět můžeme sledovat větší rozdíl mezi počtem dokončených A a B v případě celkově vyššího počtu včas dokončených zakázek. Z toho se dá usuzovat, že většího celkového počtu včas dokončených zakázek je dosahováno pomocí „brzdění“ zpracování zakázek, které jsou ve zpoždění. To samozřejmě není správné, protože cílem moderního řízení výroby není vyrábět to, co je z hlediska statistik a ukazatelů nejvýhodnější, ale naopak to, co je skutečně potřeba vyrábět i za cenu celkově nižších hodnot některých ukazatelů.

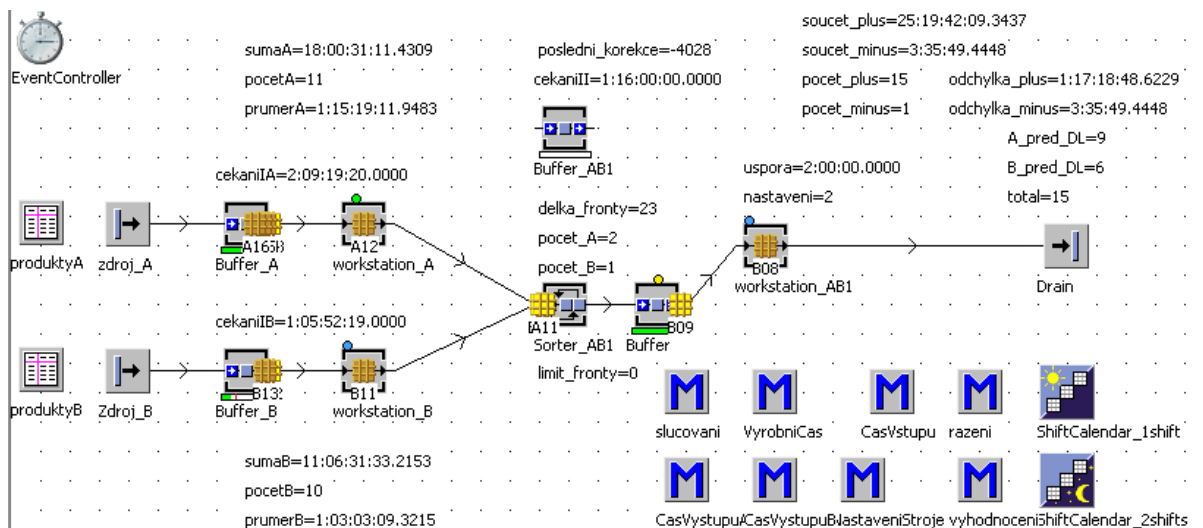
Z tohoto hlediska se jeví řízení dle priorit jako nejvhodnější, protože dokáže stanovit, co je v danou chvíli skutečně potřeba vyrábět bez ohledu na to, v jakém pořadí zakázky do fronty přišly. Snaží se o rovnoměrné dosahování termínů pro všechny zakázky při zohlednění odchylek, kterým se v reálném provozu, a to často nejen v neopakované výrobě, prakticky nelze vyhnout.

5.3 Slučování výrobních dávek dle technologické podobnosti

Další hypotézou, která byla použita při tvorbě modelu řízení zakázek, byla možnost zvýšení kapacity úzkého místa pomocí sloučení výroby technologicky podobných výrobních úkolů. Bylo řečeno, že pokud vyrábíme společně technologicky podobné zakázky, je možno dosáhnout úspory dávkových časů potřebných pro nastavení pracoviště. Díky tomu dokážeme snížit reálný čas potřebný pro výrobu oproti plánu a tím zvýšit průtok. Na druhou stranu to znamená, že nevyrobíme v pořadí, které nám definují priority jednotlivých čekajících zakázek. Proto je potřeba ověřit, zda úspora plynoucí ze slučování zakázek dle podobnosti ve skutečnosti nezpůsobí nežádoucí ohrožení termínů zakázek. Pokud by tomu tak bylo, nemělo by smysl zakázky slučovat, protože úspora z toho plynoucí by byla pouze teoretickou výhrou.

5.3.1 Simulace dle navrženého modelu řízení – kapacitní hranice fronty

Pro ověření hypotézy byl sestaven další simulační model. Ten svou koncepcí vychází z předchozího modelu pro porovnání různých způsobů řazení čekajících zakázek ve frontě (FIFO / PRI). Opět jsou izolovaně ve dvou zdrojích generovány dva typy výrobků A a B. Jejich první operace dle technologického postupu probíhá na různých pracovištích „workstation_A“ pro výrobky typu A a „workstation_B“ pro výrobky typu B. Následně se materiálové toky sejdou ve frontě před druhou operací, která probíhá pro oba výrobky shodně na pracovišti „workstation_AB1“. Po zpracování entity opouští systém a je zaznamenáno, zda byl dodržen požadovaný termín dokončení tak, jako tomu bylo v předchozím modelu. Schéma vytvořeného simulačního modelu nabízí následující obrázek:



Obr. 5-4 Simulační model – slučování zakázek

Změna oproti předchozím uvažovaným situacím nastává v zohlednění technologické podobnosti po sobě jdoucích zakázek. V modelu bylo nastaveno, že pokud je na pracovišti „workstation_AB1“ provedeno opracování výrobku určitého typu (například A), po kterém následuje opracování stejného typu výrobku, je čas zpracování zkrácen oproti plánu. Předpokládá se totiž, že mezi nimi není potřeba vůbec měnit nastavení stroje nebo je předpokládaný objem změny nastavení výrazněji redukován. Velikost této časové úspory byla definována jako jeden z proměnných vstupních parametrů pro simulační běhy.

Dalším velice důležitým vstupním parametrem byla kapacitní hranice, od které se přestane dodržovat zvolené řazení zakázek ve frontě dle priorit a jako hlavní kritérium se začne používat technologická podobnost čekajících zakázek. To znamená, že až do určitého počtu čekajících zakázek se slučování dle podobnosti neprovádí a rozhodujícím kritériem pro stanovení pořadí zpracování je pouze priorita stanovená na základě odchylky časového průběhu od plánu. Pokud je počet zakázek ve frontě větší, znamená to, že pracoviště již není schopno docílit plánovaného času čekání, který byl použit při určení časového průběhu jednotlivých zakázek. Proto je nutno činnost pracoviště urychlit. Toho je dosaženo pomocí slučování zakázek. V teoretickém popisu modelu bylo uvedeno, že by se k aktuální zpracovávané zakázce měla ve frontě najít (dle pořadí daného prioritami) nejbližší další zakázka se stejným nastavením a ta by se měla přesunout na první místo ve frontě tak, aby se minimalizovaly nezbytné časy pro přestavení pracoviště. Tento postup probíhá až do chvíle, kdy počet čekajících zakázek klesne pod kapacitní hranici. Dle těchto pravidel byla nastavena logika řízení uvolňování zakázek z fronty na pracoviště „workstation_AB1“.

Aby bylo možno nastavit požadované fungování fronty, bylo nutno použít opět objekt sorter, který slouží stejně jako v minulém simulačním modelu pro primární řazení zakázek dle priorit. Standardně je pro jeho fungování nastavena metoda pro přepočítání priorit a změnu pořadí, která se provádí při jakékoli změně ve frontě.

Sorter má však také nově přidanou naprogramovanou metodu, která se spouští v okamžiku, kdy se uvolní kapacita pracoviště „workstation_AB1“ a z fronty má být uvolněna další zakázka. Pokud bychom neuvažovali slučování podobných zakázek, byla by uvolněna zakázka s nejvyšší prioritou. Jestliže je však slučování zakázek aktivováno, ověří se nejprve podmínka překročení kapacitní hranice (zda je fronta delší, než je plánovaný limit). V případě překročení hranice je pomocí cyklu hledána zakázka s nejvyšší prioritou, která má shodné nastavení s aktuálně dokončenou zakázkou. Je-li nalezena, dojde okamžitě k jejímu uvolnění na pracoviště. Pokud taková zakázka nalezena nebyla, vybere se z fronty zakázka s nejvyšší

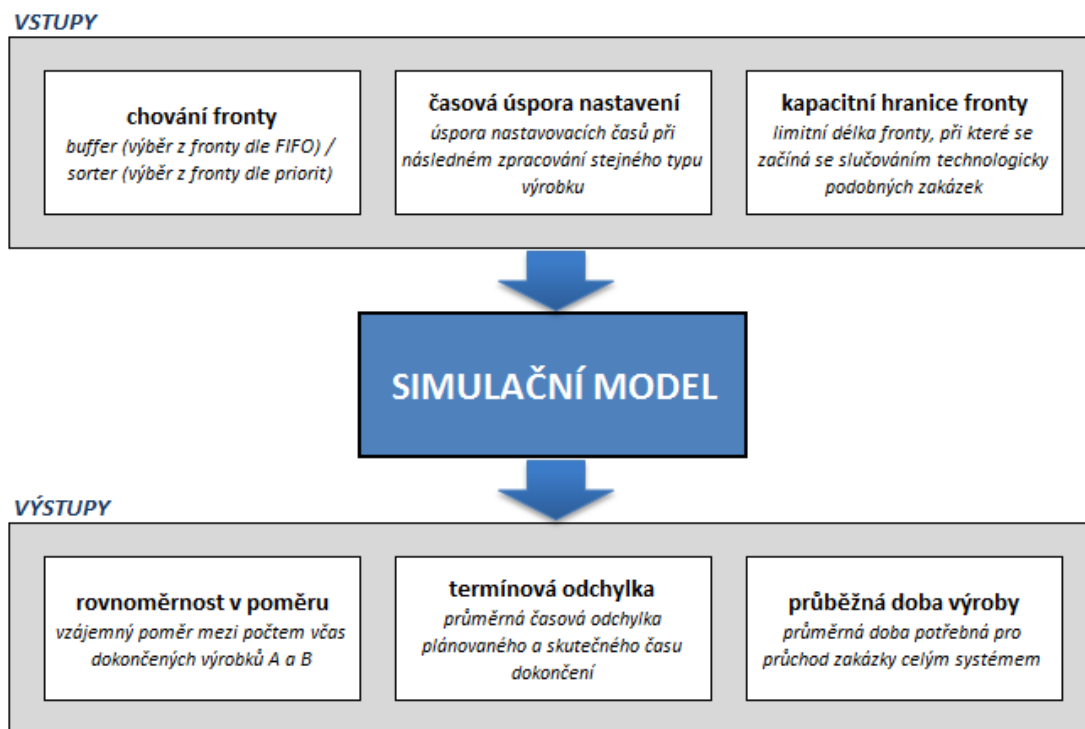
prioritou, protože aktuální nastavení pracoviště není možné vhodně využít pro výrobu žádné z právě čekajících zakázek. Slučování zakázek probíhá neustále, dokud ve frontě existuje nějaká technologicky podobná zakázka a délka fronty neklesne pod stanovenou hranici.

Pracoviště v modelu mají opět různé směnné modely, navíc bylo nastaveno nesouměrné triangulární rozdělení času opracování na pracovištích „workstation_A“ a „workstation_B“. Zatímco na „workstation_A“ se zpracování obvykle předběhne oproti plánu, na „workstation_B“ dochází většinou ke zpoždění. Díky tomu se liší priority výrobků A a B. Časy zpracování pro výrobky A a B na pracovišti „workstation_AB1“ byly nastaveny shodné a konstantní. Důvodem k tomuto rozhodnutí byla snaha o eliminování jevu, který může nastat, pokud řadíme ve frontě nejprve zakázky s kratší dobou opracování a následně pak s delší. Tímto způsobem se zkracuje průběžná doba výroby na pracovišti, což by se projevilo nežádoucím zkreslením výsledků, ve kterých jsme chtěli zkoumat jiné faktory (slučování).

Protože se u předchozího modelu ukázalo, že počet včas dokončených zakázek nemá zcela vhodnou vypovídací hodnotu, byla jako nově sledovaný výstupní parametr definována také průměrná odchylka času dokončení od požadovaného termínu u jednotlivých zakázek. Aby nebyl průměr zkreslen, počítá se odchylka zvlášť pro zakázky dokončené po termínu (odchylka -) a pro zakázky dokončené před termínem (odchylka +). Obě výsledné průměrné odchylky v absolutní hodnotě jsou pak sečteny a vytvoří výstupní ukazatel termínové odchylky. Samozřejmě ideální hodnotou je nula, protože ta představuje naprosto přesné dokončování na termín. Čím jsou naopak hodnoty vyšší, tím dochází k větší nerovnoměrnosti.

Jako další doplňkový výstupní ukazatel byla sledována průměrná průběžná doba výroby. Ta byla zjišťována tak, že po průchodu entity celým systémem byl těsně před okamžikem jejího zániku odečten od aktuálního simulačního času čas jejího vstupu do systému, čímž byla určena její průběžná doba výroby. Průběžné doby výroby se sečetly a vydělily počtem entit a výsledkem byla průměrná hodnota, která slouží jako třetí výstupní ukazatel.

Následující schéma znázorňuje hlavní vstupní a výstupní parametry simulačního modelu. Porovnání mělo ukázat především schopnost včasného dokončování zakázek, rovnoměrnost v počtu dokončených zakázek od obou typů výrobků A a B a vliv nastavení parametrů modelu na průběžnou dobu výroby. Níže je také uveden přehled provedených experimentů (postupné nastavení jednotlivých hodnot vstupních parametrů).



Obr. 5-5 Vstupy a výstupy simulačního modelu

číslo experimentu	1. parametr	2. parametr	3. parametr
	ČASOVÁ ÚSPORA NASTAVENÍ	CHOVÁNÍ FRONTY	KAPACITNÍ HRANICE FRONTY
1	0 hod.	buffer (FIFO)	---
2 - 22		sorter (priority)	0, 5, 10, .. , 100
23	0,5 hod.	buffer (FIFO)	---
24 - 44		sorter (priority)	0, 5, 10, .. , 100
45	1 hod.	buffer (FIFO)	---
46 - 66		sorter (priority)	0, 5, 10, .. , 100
67	1,5 hod.	buffer (FIFO)	---
68 - 88		sorter (priority)	0, 5, 10, .. , 100
89	2 hod.	buffer (FIFO)	---
90 - 110		sorter (priority)	0, 5, 10, .. , 100

Tab. 5-2 Plán experimentů

Z provedených experimentů byly získány hodnoty výstupních parametrů, které jsou uvedeny v přílohách (viz Příloha C – výsledky simulace pro slučování výrobních dávek podle technologické podobnosti). Pro lepší vizualizaci výsledků byly z hodnot uvedených v tabulkách vytvořeny grafy pro termínové odchylky a průběžné doby výroby, které umožňují lépe sledovat vývoj hodnot při postupných změnách nastavení parametrů modelu. Pozornost není ani tak potřeba věnovat konkrétním hodnotám, které se budou samozřejmě vždy lišit, ale trendům, které je možno pozorovat mezi výsledky jednotlivých experimentů. Červená čára představuje vždy referenční nastavení chování fronty podle FIFO, modrá pak nastavení dle priorit.

Nejprve bylo provedeno srovnání mezi výsledky při různém nastavení chování fronty bez uvažování cíleného slučování zakázek. Jedná se tak prakticky o podobný model, jaký byl zkoumán v předchozím případě. Pokud je limit délky fronty nastaven na hodnotu sto, která

nebyla v žádném z experimentů dosažena, znamená to, že nebyl nikdy použit algoritmus slučování a fronta se vždy řídí pouze podle priorit. Porovnáváme tedy vzájemně hodnoty experimentů: 1 – 22, 23 – 44, 45 – 66, 67 – 88 a 89 – 100.

Pozn.: Úspory nastavovacích časů v případě posloupnosti zpracování stejných typů výrobků nebyly potlačeny to znamená, že pokud vyšlo k nevynucenému zpracování stejných dvou typů výrobků po sobě, byla nastavená úspora zohledněna. To platí jak pro řízení dle FIFO, tak i dle priorit. Nebylo však vynucováno záměrné slučování zakázek, které by potlačilo zpracování dle priorit.

Z porovnání počtu včas dokončených zakázek byl opět patrný větší rozdíl mezi počtem včas dokončených výrobků A a B při řízení fronty dle FIFO, což znamená nerovnoměrné dokončování jednoho typu výrobku na úkor druhého. To se dařilo do určité míry eliminovat pomocí řízení dle priorit. Jako příčinu nerovnoměrnosti je možno označit záměrné nesouměrné nastavení pravděpodobnostního rozdělení časů opracování na pracovištích „workstation_A“ a „workstation_B“ (předbíhání se proti plánu / opožďování). To nebylo možno pomocí FIFO vyrovnávat a logicky se tak počty včas dokončených výrobků A, které se předbíhaly proti plánu, zvyšovaly na úkor výrobků B. Pokud do řízení fronty nezasahovalo slučování zakázek, byl poměr mezi A a B vyrovnaný. Opět se tedy potvrzuje vhodnost řízení dle priorit oproti FIFO v případech, kdy dochází v předchozích fázích zpracování k časovým odchylkám od plánu.

Co se týče průměrných časových odchylek skutečného času dokončení od plánu, vyznívaly logicky opět ve prospěch řízení dle priorit. Výrazně lépe dopadlo řízení dle priorit především v experimentech s nastavenou hodnotou úspory 1 a 1,5 hodiny. To však není pravděpodobně zapříčiněno samotným řízením dle priorit, ale konkrétním uspořádáním zakázek ve frontě, které v některých případech (řízení dle PRI) umožnilo dosáhnout větších úspor v nastavovacích časech (což ale v těchto experimentech nebylo cíleně řízeno). Toto tvrzení podporuje výsledek experimentu č. 110 s nastavenou úsporou 2 hodiny. Zde je termínová odchylka jen málo odlišná od výsledků řazení dle FIFO. Je možné, že při změněném mixu zakázek, jiných zpožděních na pracovištích apod. by výsledky nebyly tak výrazně lepší. I přes to se však ukazuje řízení dle priorit z daného hlediska jako výhodnější.

Hodnoty průměrné průběžné doby výroby kopírovaly ve zmíněných experimentech trend pozorovaný u termínových odchylek. Při první sadě experimentů s nastavenou nulovou hodnotou úspory byly výsledky podle očekávání ve všech případech naprosto shodné. Nebylo tomu však v případě, kdy byly pokusně nastaveny různé časy opracování pro výrobky A a B na pracovišti „workstation_AB1“. Vzhledem k odlišné sekvenci řazení zakázek ve frontě vykazovaly strategie FIFO a PRI vzájemné odchylky.

Cílem však nebylo znovu porovnat výsledky při řazení fronty dle FIFO a dle priorit, ale především ověřit chování modelu při řízeném slučování zakázek.

Podíváme-li se nejdříve na první graf v příloze (Graf C-1) znázorňující vývoj při nastavené nulové úspoře, je dobře patrné, že slučováním se dosahuje horších nebo v nejlepším případě srovnatelných termínových odchylek jako při referenčním řízení dle FIFO. Situace je kritická především při nižších hranicích pro slučování. To je možno logicky vysvětlit. Jestliže je totiž vynucováno slučování zakázek ve frontě, ze kterého však neplyne časová úspora, je narušováno řízení dle priorit, které se snaží termíny zakázek ochraňovat. Upřednostňujeme tak zpracování některých zakázek na úkor jiných, jejichž termíny ohrožujeme a při tom není kompenzováno žádnou časovou úsporou. Na průběžnou dobu výroby to však vliv nemá. Ta zůstává stejná konstantní pro všechny případy. K odchylce by došlo, kdyby doba opracování pro výrobky A a B na pracovišti „workstation_AB1“ byla odlišná, jak bylo uvedeno dříve.

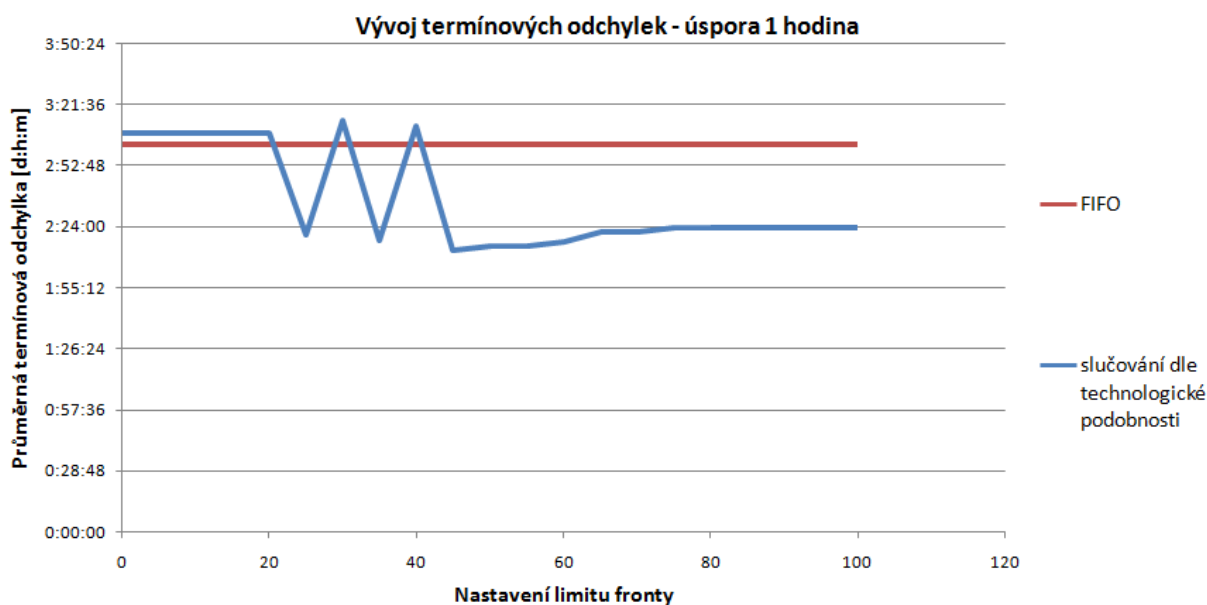
Při nastavení úspory na 0,5 hodiny již byly termínové odchylky vyrovnanější, protože bylo možno slučování do určité míry kompenzovat. Zajímavější je však průběžná doba výroby, která přestala být konstantní na rozdíl od předchozího případu. Při nižších kapacitních hranicích (větší objem slučování) bylo dosaženo jejího výraznějšího snížení. Naopak při snížení objemu slučování se průběžná doba výroby vyrovnala s nastavením odebírání z fronty dle FIFO. Ačkoli byla průběžná doba kratší, neprojevalo se to na snížení termínových odchylek.

V následujícím souboru experimentů – při nastavení úspory na 1 hodinu – byly při větším objemu slučování termínové odchylky ve srovnání se strategií FIFO vyšší. Při dalších změnách kapacitní hranice (limit 20 – 45) docházelo k výrazným výkyvům ve výstupních hodnotách. Ty se postupně při menším objemu slučování ustálily na přijatelné hodnotě, která byla ve srovnání s FIFO výrazně nižší. U průběžné doby výroby bylo možno pozorovat postupný pozvolný nárůst.

Poslední dvě sady experimentů – úspora 1,5 a 2 hodiny – vykazovaly oproti předchozím opačný trend. Při větším objemu slučování byly termínové odchylky nižší a postupně se zvyšovaly. Lze to přičíst výraznější úspoře nastavovacích časů. Zajímavý je fakt, že při úspoře 1,5 hodiny byl rozdíl ve výsledcích FIFO a PRI vyšší než při dalším zvýšení úspory na 2 hodiny.

Obecně se zdá, že při vyšších potenciálních úsporách plynoucích ze společného zpracování technologicky podobných zakázek, je možné nejen dosahovat nižších průběžných dob výroby, ale dokážeme tím redukovat i termínové odchylky i navzdory porušování prioritního řazení. Objem úspor to dokáže vykompenzovat. Na druhou stranu, pokud jsou úspory jen malé, slučování technologicky podobných zakázek může mít negativní vliv na dodržování termínů a jako vhodnější se pak jeví řízení pořadí zpracování čistě pouze dle priorit bez slučování.

I přes tyto obecné závěry však výsledky simulačních experimentů nejsou uspokojivé a to hned z několika důvodů. Ten první zásadní je dobře patrný především z grafů termínových odchylek pro úsporu 1 a 2 hodiny. Průběh totiž není stabilní, ale vykazuje velmi významné odchylky. Kvůli tomu je velmi obtížné předpovídat chování modelu při nastavení určitých parametrů. Jen drobná změna hodnoty kapacitní hranice může ve výsledku vykazovat naprosto odlišné výsledky, (viz Graf 5-4).



Graf 5-4 Výrazné kolísání termínových odchylek při změnách parametru délky fronty

Slučování zakázek je ve své podstatě omezeno pouze limitem pro délku fronty. Vzhledem k tomu docházelo v některých experimentech po překročení této hranice k nekontrolovanému nadměrnému slučování. Pokud byl ve frontě velký počet zakázek od daného právě vyráběného typu výrobku, logika řízení fronty všechny zakázky slučovala, a vytvářela tak z nich jednu velkou výrobní dávku. To bylo ukončeno až v okamžiku, kdy byla podkročena kapacitní hranice, a slučování bylo zastaveno. Díky tomu mohlo dojít ke změně výroby na jiný typ výrobku, který se mezitím dostal samozřejmě do zpoždění, protože bylo porušováno řízení dle priorit. Ten se však ve frontě nejen opozdil, ale obvykle také nahromadil, protože nemohl být kvůli předchozímu slučování zpracováván. Tím pádem byl model po opětovném překročení hranice nucen k tvorbě další velké výrobní dávky. Tento jev byl patrný především při nastavení nižších kapacitních hranic, jelikož slučování bylo vždy aktivováno již při poměrně malé délce fronty a počet čekajících zakázek stejného typu, které mohly být slučovány až do podkročení hranice, byl velký a způsoboval tvorbu velkých výrobních dávek.

Z výsledků simulace rovněž nebylo možno potvrdit hypotézu, že kapacitní hranice pro slučování by měla být stanovena podle předpokládané doby čekání zakázky ve frontě určené v přípravné fázi. Pokud by pracnost fronty překročila plánovanou hranici, mělo by se začít se slučováním. Z výsledků to však vypadá, že neexistuje vztah mezi plánovanou dobou čekání z přípravné fáze a fyzickou kapacitní hranicí, od které se ve výrobě začíná se slučováním.

Díky těmto výsledkům se jeví navržený koncept slučování jako ne zcela vhodně fungující, protože výsledky jsou velmi závislé na situaci, která v daném okamžiku panuje. Kvůli tomu je prakticky nemožné najít vhodnou kombinaci nastavení vstupních parametrů tak, aby bylo možno průběh výroby racionalizovat.

Na druhou stranu se však ukázalo, že slučování technologicky podobných zakázek umožňuje redukovat celkovou průměrnou průběžnou dobu výroby. To má samozřejmě pozitivní vliv na objem zásob rozpracované výroby. Jestliže předpokládáme u diskutovaného typu neopakované výroby přítomnost zákazníků, kteří akceptují dodání zboží před termínem, může to být cesta ke zvýšení obrátu aktiv v podniku. Pořád je však potřeba odstranit negativní dopad slučování na termínové odchylky.

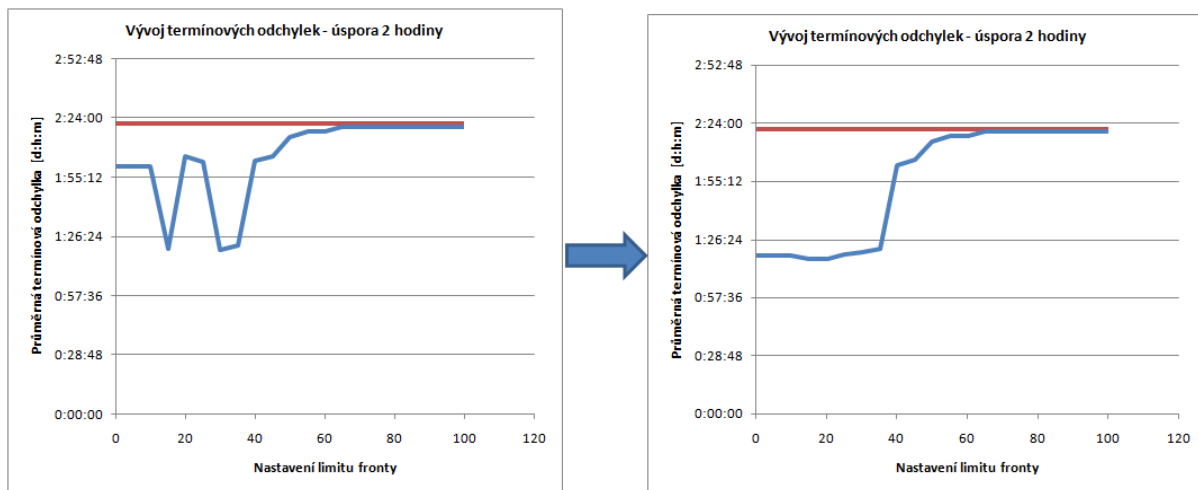
5.3.2 Upravený model

Z experimentů vyplynulo, že základním problémem je objem slučování zakázek, který v současném modelu nebyl nijak omezen. Proto byla navržena úprava stávajícího simulačního modelu, která omezila maximální počet zakázek jednoho typu, které je možno zpracovat na jedno nastavení. Fyzicky se tak omezila velikost sloučené výrobní dávky jednoho druhu.

Například bylo nastaveno, že mohou být po sobě zpracovány nejvýše tři zakázky daného druhu a i v případě stále překročené kapacitní hranice fronty musí být následně provedeno přestavení pracoviště na zakázku, která je podle prioritních pravidel ve frontě první. K ní pak mohou být hledány opět maximálně dvě zakázky se stejným nastavením, které budou zpracovány společně.

S touto úpravou byly znovu zopakovány experimenty číslo 45 – 110 (tedy při úspoře 1, 1,5 a 2 hodiny). Výsledky, které jsou dobře patrné v grafech C-6 až C-8 (viz Příloha C – výsledky simulace pro slučování výrobních dávek podle technologické podobnosti), byly překvapující. S pomocí omezení počtu slučovaných zakázek se podařilo odstranit všechny zásadní výkyvy, které byly pozorovány v neupraveném modelu. Tím se zvýšila předvídatelnost chování modelu vzhledem k vstupním parametrům. Navíc se ukázalo, že při daných potenciálních úsporách plynoucích ze slučování dosahuje model obvykle nejlepších výsledků, pokud je slučování prováděno vždy (kapacitní hranice = 0). Se zvyšující se hranicí pro slučování se výsledky termínových odchylek postupně zhoršovaly. Dosažené výsledky při kapacitní

hranici rovné nule se vyrovnaly, nebo dokonce překonaly nejlepší výsledky předchozího neupraveného modelu, které byly navíc dosahovány pouze ve výkyvech. Výsledky termínových odchylek upraveného modelu oproti původnímu ilustruje Obr. 5-6. Červená křivka opět reprezentuje referenční nastavení dle FIFO, modrá pak dosažené hodnoty při slučování dle technologické podobnosti.



Obr. 5-6 Vliv omezení objemu slučování (definování maximálního počtu sloučených zakázek)

Pozitivní výstupy ze simulačního modelu lze přičítat omezení velikosti sloučených výrobních dávek, díky čemuž nedocházelo k tak velkým termínovým výkyvům – čekající zakázky nemohly nabrat tak velké zpoždění v důsledku slučování jiného druhu výrobků. Zároveň však při neustálém průběžném slučování (kapacitní hranice = 0) bylo možno dobře využívat výhod plynoucích z úspor nastavovacích časů.

U neupraveného modelu se slučování až do kapacitní hranice fronty nevyužívalo. To způsobovalo rychlejší růst délky fronty než v případě, kdy by se slučování provádělo průběžně s respektováním limitů. Po překročení hranice sice bylo slučování aktivováno, ale to už bylo v některých případech pozdě.

5.4 Shrnutí výsledků simulačních experimentů

Výsledkem ověření navrhovaného modelu řízení zpracování zakázek pomocí simulace bylo na jedné straně potvrzení některých z hypotéz, ale na straně druhé také nepřesvědčivé výsledky v oblasti slučování technologicky podobných zakázek řízené podle délky fronty rozpracované výroby před pracovištěm.

Podařilo se potvrdit, že teoretický výpočet MASD (průměrná doba trvání aktivního stavu zakázky s přírážkou přerušování výroby) odpovídá s nevýznamnými odchylkami výsledkům simulace jak pro pravděpodobnostní rozdělení UNIFORM, tak i pro NEGEXP.

Dále se prokázala vhodnost řízení priorit zpracování zakázek na základě jejich odchylek reálného časového průběhu od plánu. Na rozdíl od srovnávaného chování fronty dle strategie FIFO dokázalo prioritní řízení rovnoměrněji dokončovat různé druhy zakázek, a tak snižovat celkové termínové odchylky.

Naopak problematickým se ukázalo stanovení MPSD (průměrného času trvání pasivního stavu zakázky – času čekání ve frontě). Stanovení výchozích hodnot čekání ve frontě dle teorie hromadné obsluhy bylo problematické především kvůli nemožnosti nalézt vhodný výpočtový vzorec pro tak komplexní situaci, která se v neopakované výrobě vyskytuje. Základní vzorec odvozený pro jednoduchou situaci, kdy model pracuje s exponenciálním

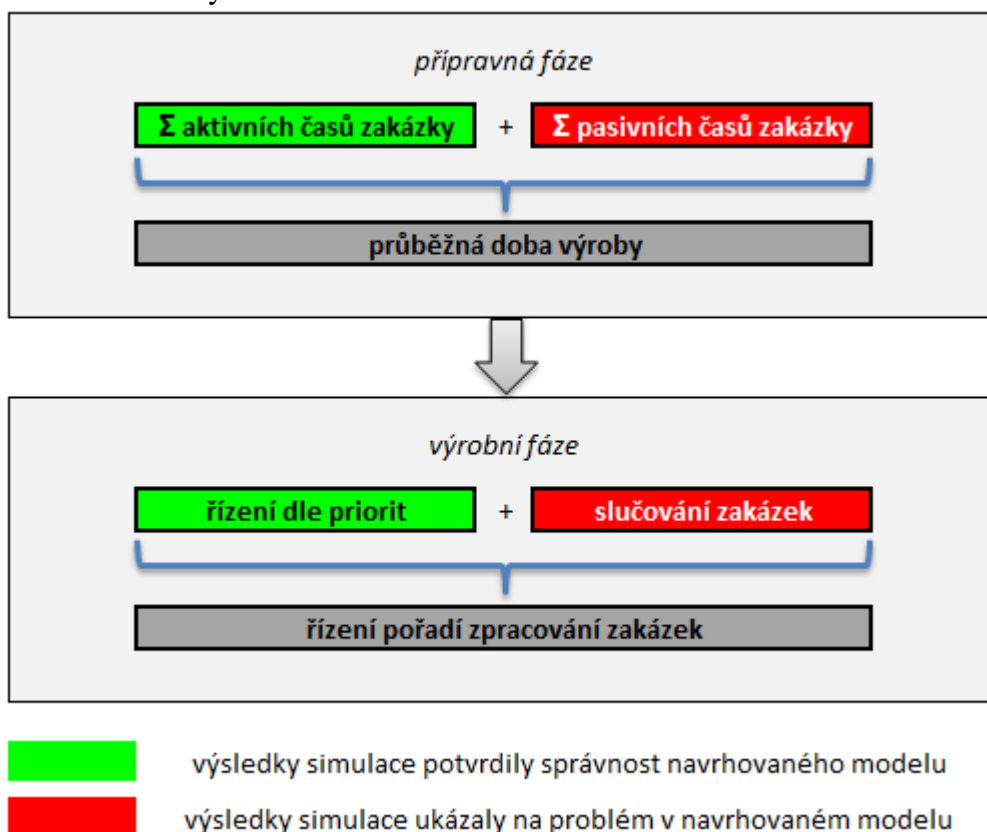
rozdělením, s řádem fronty FIFO a jedním kanálem obsluhy (M/M/1/∞/∞/FIFO) nedával v daném konkrétním případě výsledky odpovídající realitě. Vzniklý výsledek tak potom bylo zbytečné dále navyšovat o přírážku prostojů.

Zároveň byla za do určité míry chybnou označena hypotéza o slučování zakázek při dosažení určité délky fronty čekajících zakázek. Kolísavost výsledků v některých případech a neschopnost určení nastavení parametrů, které by vedlo k řešení blízkému optimu, se ukázalo jako zásadní nevýhoda. Ačkoli se prokázalo, že slučování zakázek má pozitivní dopad na zkracování průběžné doby výroby a v některých případech i na snižování termínových odchylek, bez regulace může snadno působit opačně. Řízení dle délky fronty však nebylo vhodným řešením. Jako nadějně se pro řešení daného problému jeví omezení počtu slučovaných zakázek.

Jelikož se zdá, že navržený model může vést ke zlepšení řízení neopakované výroby, avšak ne všechny předpoklady byly zcela správné, bylo rozhodnuto o potřebě úpravy modelu na základě zjištěných výsledků. Primárním cílem by mělo být jasné nastavení pravidel slučování zpracování technologicky podobných zakázek.

6 ÚPRAVA NAVRHOVANÉHO MODELU NA ZÁKLADĚ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘENÍ

Ověřovací část této práce se soustředila především na prověření základního fungování modelu v oblasti řízení časového průběhu zpracování zakázek. Vzhledem k zjištěním, která se objevila, vyvstala potřeba upravit některé části modelu (viz obrázek). To se týká jak přípravné, tak především samotné výrobní části, kdy dochází k fyzickému řízení materiálového toku ve výrobě.



Obr. 6-1 Potvrzené části modelu a nalezené problémy během ověřování

V přípravné fázi bylo nutno stanovit průměrný časový plán průchodu zakázky výrobou. Ten se skládá z pasivních a aktivních stavů. V aktivním stavu se zakázka nachází, pokud se pracoviště právě zabývá její výrobou nebo se na ni připravuje (nastavování a seřizování pracoviště), ale také pokud je na něm zakázka rozpracovaná a pracoviště je v danou chvíli neaktivní. Pasivní stav zakázky je představován dobou, kdy čeká ve frontě na zpracování.

Aktivní čas jsme schopni s určitou mírou přesnosti stanovit. V základu vychází z většinou hrubě stanovených časů v technologickém postupu. Jestliže tuto hodnotu navýšíme o průměrnou hodnotu přírážky způsobenou přerušením chodu pracoviště, získáme tzv. MASD. Vzorec pro stanovení této přírážky byl ověřen simulací a výsledky byly uspokojivé.

Problém se však objevuje při stanovování doby pasivního stavu zakázky před jednotlivými pracovišti. Nástroje teorie hromadné obsluhy se v tomto konkrétním případě jeví jako ne zcela vhodné. Vzhledem k tomu je potřeba navrhnout jiný způsob stanovení.

Určení doby, kterou zakázky stráví v jednotlivých frontách, se ukázalo být potřebné ze dvou důvodů. Prvním je samozřejmě stanovení výchozí hodnoty průběžné doby výroby, která po odečtení od požadovaného termínu dokončení udává okamžik uvolnění zakázky do výroby.

Druhým důvodem, který byl pozorován během simulačních experimentů, je správné určení priorit.

S určením časů pasivního stavu zakázky je spojen hlavní problém, který byl odhalen během ověřovací fáze, a tím je řízení slučování zpracování technologicky podobných zakázek. Způsob řízení slučování zakázek navržený v modelu se ukázal jako ne zcela vyhovující především kvůli nestabilitě výsledků a obtížnému hledání nastavení vstupních parametrů vedoucímu k dosažení řešení blízkého optimu.

6.1 Návrh úpravy modelu v oblasti slučování zakázek

Vzhledem k důležitosti je nejprve potřeba odstranit problémy při slučování technologicky podobných zakázek, které by měly být zpracovávány najednou, aby se tak uspořily časy nutné pro seřízení.

V původním navrhovaném modelu byla všechna pracoviště považována za rovnocenná a slučování mohlo být prováděno na jakémkoli pracovišti, které to umožňovalo vzhledem k technologii výroby. Vystala však otázka, zda je tento způsob skutečně vhodný.

V praxi je možno nezdědka kdy pozorovat nerovnoměrné využití výrobních kapacit mezi jednotlivými pracovišti v rámci výrobní haly nebo jednotky. Některá jsou pro chod firmy zásadní a představují primární technologie, které vyžaduje většina přijatých zakázek. Kapacity těchto pracovišť bývají často vysoce vytíženy, tvoří se zde dlouhé fronty čekajících úkolů a každá neefektivita či problém vážně zasáhne do plnění výrobního plánu a výrobních nákladů, protože tato pracoviště mají obvykle také vyšší hodinovou sazbu. Označme taková pracoviště jako „kapacitní“.

Na druhou stranu se zde můžeme setkat také s pracovišti, jejichž kapacitní vytížení je o poznání nižší, jsou využívána spíše nárazově a jejich přítomnost je odůvodněna potřebou pokrytí širokého spektra různých technologických operací, které zákazníci mohou požadovat, bez nutnosti kooperací. Z ekonomického hlediska se takové řešení může vyplatit pouze u investičně a provozně nenáročných strojů a zařízení. Označme taková pracoviště jako „doplňková“.

První úprava modelu spočívá v odlišném řízení těchto dvou druhů pracovišť. U kapacitních pracovišť má slučování zakázek jistě velký význam především kvůli efektivnímu využití kapacit. Každá úspora na těchto místech by se měla projevit v celém systému. Ve své podstatě jsou totiž kapacitní pracoviště úzkými místy. Úspora seřizovacích časů umožní nejen zvýšit průtok zakázek omezením, ale také redukuje délku fronty a zkracuje průběžné doby výroby. Díky tomu je možno případně přijímat více zakázek a efektivněji daný investiční celek využívat.

Protože kapacitní pracoviště vykazují větší vytížení, předpokládají se delší fronty čekajících požadavků, a tak je větší pravděpodobnost, že se v nich podaří nalézt technologicky podobné zakázky. Cílem proto není fronty v těchto místech zcela redukovat, ale naopak je udržovat na přijatelné úrovni, která jednak nezvýší příliš objem rozpracované výroby a průběžné doby výroby, ale zároveň zajistí dostatečné množství práce, aby nikdy nedošlo k zastavení chodu úzkého místa kvůli nepřítomnosti zakázek.

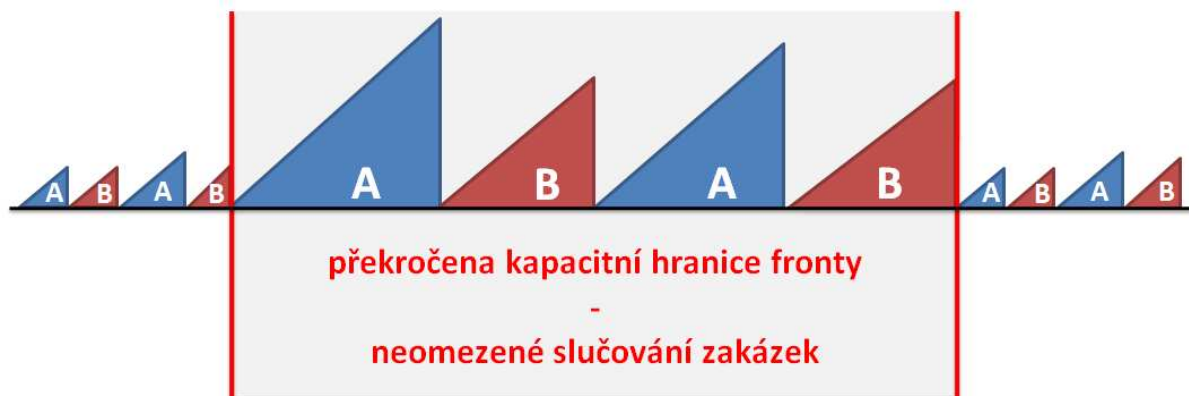
Doplňková pracoviště nejsou využívána nepřetržitě a fronty čekajících úkolů jsou obvykle krátké nebo i nulové. Přítomnost více podobných zakázek čekajících před pracovištěm je pak spíše výjimkou. V takových případech samozřejmě není možné podobné zakázky slučovat. Slučování zakázek tak příliš velký potenciál nenabízí. Navíc vzhledem ke kapacitním přebytkům nemá smysl dále šetřit. Jako vhodnější se zde jeví spíše dodržování priorit, aby se přispělo k dodržování termínů. V případě nárazového přetížení je vhodné využít přesčasů,

protože taková pracoviště mají obvykle nižší směnnost než kapacitní, a je tedy k dispozici využitelný čas navíc.

	kapacitní pracoviště	doplňková pracoviště
<i>charakteristika:</i>		
- využití výrobních kapacit	vysoké	nízké, nárazové
- využíváno pro	většinu zakázek	některé zakázky
- investiční a provozní náklady	vyšší	nízké
- rozpracovanost před pracovištěm	velká	nízká
- směnnost	vyšší	nižší
<i>způsob řízení:</i>		
- dle priorit	ano	ano
- slučování zakázek	ano	ne

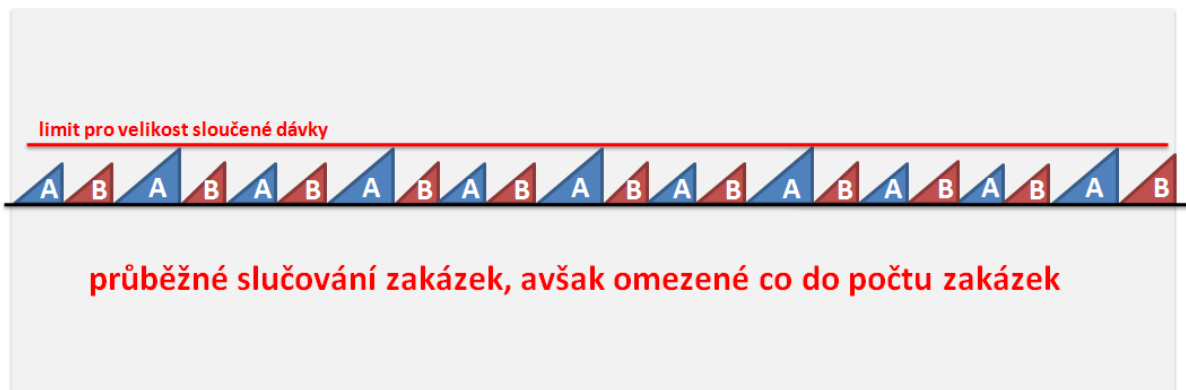
Tab. 6-1 Základní typy pracovišť – charakteristika a způsob řízení

Slučování zakázek by se tedy mělo týkat pouze kapacitních pracovišť. Původně navrhovaný způsob řízení pomocí překročení kapacitní hranice však na základě výsledků experimentů neposkytoval požadované výstupy. Hlavním důvodem bylo neomezené slučování všech podobných zakázek po celou dobu, kdy byla kapacitní hranice fronty překročena. To zapříčinilo nadměrný růst výrobních dávek zakázek jednoho druhu, jak ukazuje obrázek. Kvůli tomu začaly ostatní odsunutá zakázky nabírat zpoždění, které rostlo s objemem slučování. Větší velikost sloučených dávek měla negativní dopad na termínové odchylky a to i při významných časových úsporách v nastavování.



Obr. 6-2 Velikost výrobních dávek od jednotlivých druhů výrobků – řízení dle délky fronty

Díky následné úpravě modelu, kdy bylo omezeno slučování na určitý počet zakázek (obvykle 3), bylo dosaženo výrazně lepších a predikovatelnějších výsledků. Příčinou bylo omezení velikosti výrobních dávek jednoho druhu vzniklých slučováním. Lepší představu poskytuje následující obrázek:

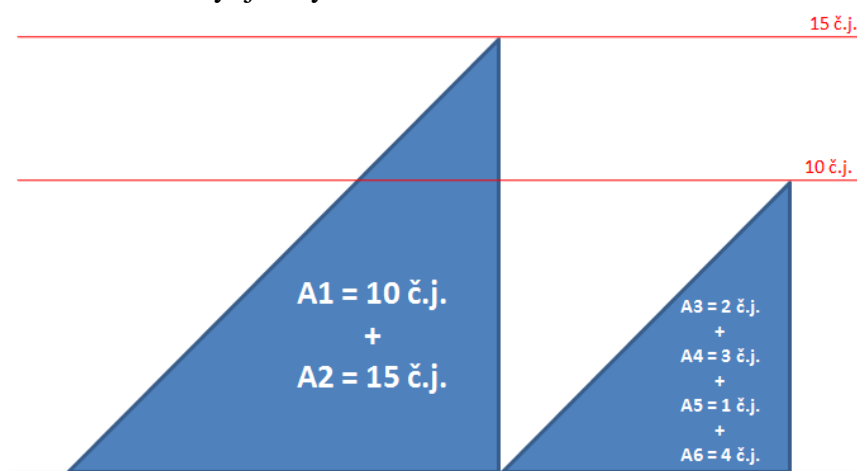


Obr. 6-3 Redukovaná velikost výrobních dávek – omezen maximální možný počet sloučených zakázek

Zároveň se ukázala vhodnost průběžného slučování zakázek ve frontě, čehož bylo dosaženo, když byla kapacitní hranice fronty položena rovna nule. Úspory ze slučování tak byly získávány neustále, ne pouze v okamžiku překročení délky fronty. Délka fronty se tak průběžně redukovala a termínové odchylky byly nejmenší. Díky tomu zároveň odpadá nutnost výpočtu kritické délky fronty, při které by se měly zakázky začít slučovat.

6.1.1 Výpočet velikosti sloučené výrobní dávky

Zmíněné omezení slučování počtem zakázek však není zcela vhodným kritériem. Důvodem je různá časová náročnost jednotlivých výrobních zakázek. Dojde-li například ke společnému zpracování dvou velkých podobných zakázek, může tak z časového hlediska vzniknout větší výrobní dávka, než když jsou sloučeny čtyři menší výrobní úkoly. Proto pouze počet sloučených zakázek nemůže být jediným kritériem.



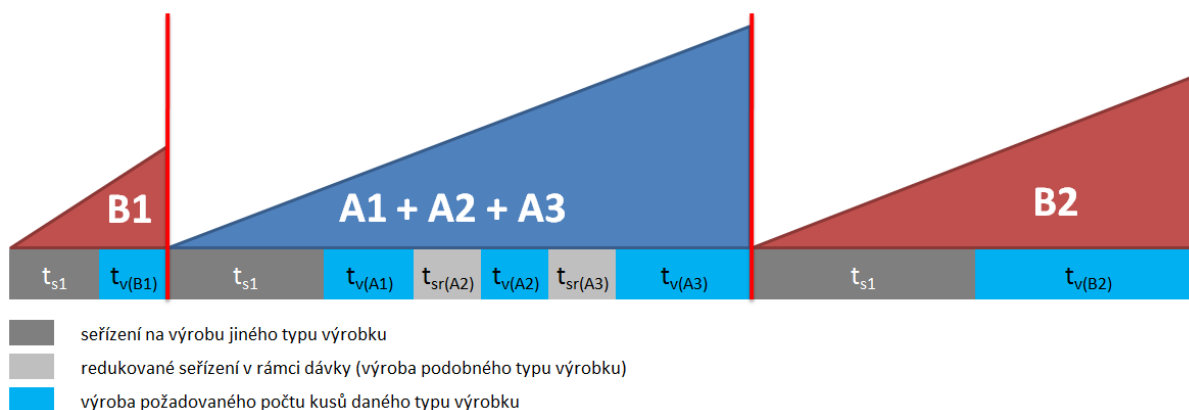
Obr. 6-4 Velikost sloučené výrobní dávky

Jako komplexnější kritérium se jeví čas potřebný k výrobě takto sloučené dávky. Ten je dán součtem času prvního seřízení pracoviště na výrobu dané dávky (neredukovaného), dále pak všemi seřizeními potřebnými ke změně výroby z jedné zakázky na druhou v rámci dávky redukovánými o potenciální úspory plynoucí ze sloučení a nakonec součiny počtu kusů a výrobních časů v rámci jednotlivých zakázek.

$$t_{VD} = t_{s1} + \sum_{i=1}^{n-1} (t_{sri}) + \sum_{i=1}^n (t_{vi} * p_i) \quad (44)$$

t_{VD}	...	čas výroby sloučené výrobní dávky (včetně uvažovaných seřízení)
t_{s1}	...	dávkový čas seřízení pracoviště na novou výrobní dávku
t_{sri}	...	i-tý redukovaný dávkový čas změny seřízení mezi zakázkami v rámci dávky
n	...	počet zakázek ve sloučené dávce
t_{vi}	...	kusový výrobní čas i-té zakázky
p_i	...	požadovaný počet kusů v i-té zakázce

Názorněji časovou strukturu sloučené výrobní dávky vysvětluje uvedený vztah obrázek:



Obr. 6-5 Časové schéma zpracování sloučené výrobní dávky (výrobek typu A)

Stanovení redukovaného času seřízení (t_{sr}), který je díky sloučení nižší, než kdyby se přecházelo na výrobu z jiného typu výrobku, není zcela jednoduché a pravděpodobně nelze stanovit jedinou společnou metodiku.

V některých případech plyne úspora z použití například společného přípravku nebo nástrojů. Obvykle tak není nutné provádět mechanické seřízení (někdy označované také jako těžká nebo hardwarová změna verze), ale stačí například změnit pouze program jako například u CNC strojů (programová změna verze). Jiným příkladem může být prášková lakovna, kde v případě lakování stejným typem barvy není potřeba měnit prášek a provádět čištění či změnu parametrů procesu. V těchto případech lze stanovit do určité míry fixní hodnotu pro redukovanou změnu seřízení pracoviště.

Někdy to však není tak jednoduché. Příkladem mohou být vysekávací CNC lisy se zásobníky nástrojů, kde se mohou slučovat zakázky se stejným typem zpracovávaného plechu. Pro zhotovení jednotlivých zakázek však mohou být potřebné různé tvarové nástroje. Konkrétní časová úspora pak závisí na kombinaci nástrojových požadavků sloučených zakázek. Zde se pak nabízí sofistikované řešení, které porovná míru shody nástrojů mezi zakázkami a podle ní dopočte předpokládanou úsporu. Jinou možností je stanovení úspory pomocí koeficientu, který představuje obvyklou hodnotu úspory. Tím se pak redukuje stanovená výchozí hodnota času seřízení. Toto řešení je méně přesné, ale poměrně jednoduché a levné.

6.1.2 Určení hranice pro slučování zakázek

V předchozí kapitole bylo zvoleno kritérium, kterým je posuzována velikost sloučené výrobní dávky – čas potřebný k seřízení a výrobě všech zakázek ve sloučené výrobní dávce. Protože z experimentů vyplynula nutnost omezení slučování, je nyní potřeba stanovit horní hranici velikosti dávky. Ta představuje maximální čas, po který může být pracoviště obsazeno výrobou zakázek podobného typu, pokud dochází ke slučování a následně k porušování prioritních pravidel fronty.

V literatuře jsou uváděny různé způsoby výpočtu výrobních dávek. Mezi dva základní řadíme [20]:

- *stanovení minimální velikosti výrobní dávky* - tzv. kapacitní přístup, zajištění potřebného využití profilujících výrobních kapacit, stanovení efektivního poměru mezi seřizováním a výrobou
- *stanovení optimální velikosti výrobní dávky* – tzv. ekonomický přístup, zajištění minimalizace nákladů na přípravu, seřízení a zakončení a nákladů na skladování, určení vhodného poměru mezi produktivitou a skladováním

V sériové výrobě se můžeme rozhodnout, který z uvedených způsobů zvolíme, protože volba počtu kusů v dávce závisí interně na podniku. Bohužel v zakázkové neopakované výrobě je velikost dávky pevně daná počtem kusů, které si zákazník objednal. Proto není možno tuto optimalizaci běžně provádět (ve většině případů by teoreticky vypočtená dávka převyšovala objednaný počet kusů). Využití výrobních kapacit je tak méně efektivní a poměr časů seřízení k výrobním časům bývá nepříznivý.

Díky slučování zakázek však vzniká na daném pracovišti větší výrobní dávka, o jejíž maximální velikosti je potřeba rozhodnout. Větší dávka umožní lépe využít výrobní kapacity a snížit průběžné doby výroby, avšak více ohrozí termíny některých čekajících zakázek. Přístup použitý při stanovení optimální výrobní dávky se nejeví jako nejvhodnější, protože skladovací náklady nejsou v tomto případě rozhodující. Jako vhodnější se zdá být rozhodnutí na základě poměru seřizovacích a výrobních časů (minimální výrobní dávka).

Z hlediska termínových odchylek nemá význam pouze samotná velikost dávky, ale také počet sloučených dávek, které je možno z čekajících zakázek vytvořit. Ve frontě může být několik zakázek, které je možno sloučit do dávek, vedle kterých mohou být jiné výrobky, pro jejichž výrobu je potřeba individuální nastavení. Opět by mělo platit, že čím více dávek můžeme vytvořit, tím více termíny ohrožujeme. Optimalizace z hlediska termínových odchylek se tedy jeví jako problematická vzhledem k velkému množství působících faktorů.

Kromě těchto spíše organizačních aspektů je však také potřeba přihlídnout k technickým omezením. U některých technologií a strojů má velikost dávky své fyzické omezení, které může být dáno trvanlivostí nástroje, potřebou pravidelné údržby a čištění, výměnou spotřebních dílů apod. V takovém případě by velikost dávky neměla takové omezení překročit. Je tak stanovena naprosto maximální velikost dávky, což znamená, že optimální dávka by tak měla ležet někde v intervalu od nuly do daného omezení.

Protože je slučování zakázek uvažováno pro kapacitní stroje, rozhodl se autor zvolit pro stanovení horní hranice sloučené výrobní dávky metodiku pro výpočet minimální výrobní dávky dle poměru seřizovacích a výrobních časů. Ta umožňuje efektivně řídit využívání výrobních kapacit.

Pro výpočet minimální výrobní dávky platí následující vztahy [20]:

1. doba, po kterou zařízení koná výrobní činnost – aktivní působení

$$t_a = t_k \times d_v \quad (45)$$

t_a	...	doba aktivního působení zařízení (čas využití pro výrobní činnost)
t_k	...	kusový strojní čas jedné operace na daném stroji
d_v	...	počet výrobků v jedné dávce

2. koeficient seřízení – maximálně přípustný podíl času přípravy, seřízení a zakončení na čase aktivního působení

$$k_a = \frac{t_{pz}}{d_{v(\min.)} \times t_k} \quad (46)$$

k_a	...	koeficient seřízení (stanoven empiricky)
t_{pz}	...	čas na přípravu, seřízení a zakončení

Orientační hodnoty koeficientu k_a uvádí následující tabulka:

Složitost součástí	Koeficient k_a
velké a složité součásti	0,04
střední součásti	0,05
drobné součásti	0,08
součásti vyráběné na automatech	0,10

Tab. 6-2 Orientační hodnoty koeficientu seřízení [20]

3. minimální výrobní dávka – pouze vyjádření z předchozího vztahu

$$d_{v(\min.)} = \frac{t_{pz}}{k_a \times t_k} \quad (47)$$

V našem případě je potřeba určit velikost dávky v časových jednotkách nikoli v kusech, jak to uvádí teoretický vztah. Uvažovaná výrobní dávka vzniklá sloučením podobných zakázek totiž nebude mít výrobní čas t_k jednotný a nebudou se shodovat ani počty kusů v jednotlivých zakázkách. Vyjdeme proto ze vztahu s nerozepsanou dobou aktivního působení zařízení, která reprezentuje výrobní dávku:

$$k_a = \frac{t_{pz}}{t_a} \quad (48)$$

$$t_a = \frac{t_{pz}}{k_a} \quad (49)$$

Vzhledem k tomu, že čas seřízení t_{pz} se může v diskutovaném typu výroby měnit, je pro výpočet potřeba vycházet z průměrného času seřízení získaného z historických dat. Kdybychom vycházeli vždy z aktuálního času seřízení, dostávali bychom pokaždé různou maximální hranici dávky, což by mohlo ohrožovat termíny ostatních zakázek. Maximální velikost dávky musí být jednotná.

Jestliže známe t_{pz} , je pro výpočet výrobní dávky nutné dále stanovit koeficient seřízení k_a . Ten bude pravděpodobně odlišný pro různé technologie a zpracovávané výrobky. Nelze zde proto uvést univerzální optimální hodnotu. Hledání optimálních hodnot překračuje rozsah této práce

a mohlo by být předmětem dalších zkoumání. V praxi záleží nejen na složitosti a velikosti výrobků, jak je uváděno v teorii, ale také na investičních nákladech na pořízení výrobního zařízení (požadavek na určitou míru využití kapacit z důvodu návratnosti investice), ceně zpracovávaných materiálů a polotovarů (vázanost aktiv v zásobách rozpracované výroby), dostupnosti personálu apod. Možným vodítkem pro stanovení výchozí hodnoty by mohla být historická data o obvyklých poměrech mezi t_{pz} a t_a .

Nyní je tedy možno stanovit čas $t_{a(max.)}$ vyjadřující maximální dobu, po kterou může být prováděna výroba sloučené dávky technologicky podobných zakázek. Pro úplnost uveďme jen jednoduchý příklad:

průměrná doba potřebná pro nové seřízení stroje t_{pz} ...	20 minut
koeficient seřízení k_a ...	0,10

$$t_{a(max.)} = 200 \text{ minut}$$

To znamená, že po změně nastavení stroje trvající 20 minut by měla následovat výroba trvající 200 minut. Pokud bychom tento čas podělili t_k , získali bychom velikost výrobní dávky v kusech. Součet t_{pz} a $t_{a(max.)}$ (= 220 minut) představuje, dle terminologie zvolené v této práci, aktivní stav zakázky.

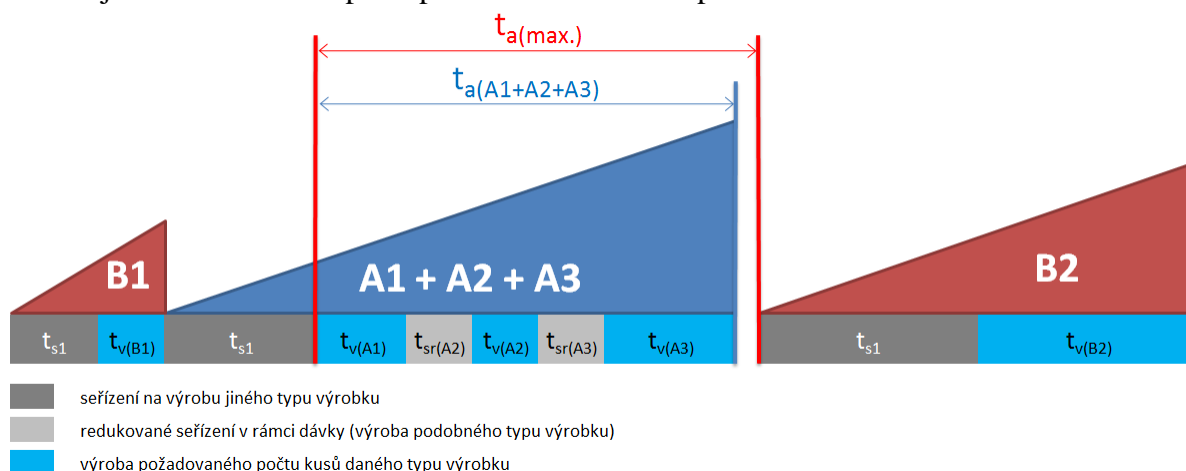
Čas $t_{a(max.)}$ představuje maximální dobu výroby dávky. Pokud provádíme slučování zakázek, je potřeba určit skutečný čas výroby sloučené dávky t_a . Ten získáme z dříve uvedeného vztahu pro t_{DV} odečtením prvního nutného seřízení při přechodu na výrobu dávky jiného typu (t_{s1}):

$$t_a = t_{VD} - t_{s1} = \left[t_{s1} + \sum_{i=1}^{n-1} (t_{sri}) + \sum_{i=1}^n (t_{vi} * p_i) \right] - t_{s1} = \sum_{i=1}^{n-1} (t_{sri}) + \sum_{i=1}^n (t_{vi} * p_i) \quad (50)$$

Slučování může probíhat, dokud je splněna podmínka:

$$t_a \leq t_{a(max.)}$$

Následující obrázek slouží pro lepší ilustraci řešeného problému:



Obr. 6-6 Vztah $t_{a(max.)}$ a skutečné t_a

Při určení výsledné velikosti sloučené dávky by však měl být zohledněn i fakt, že seřízení t_{s1} nemusí být rovno uvažovanému průměrnému času seřízení t_{pz} . Pokud by byl t_{s1} výrazně vyšší,

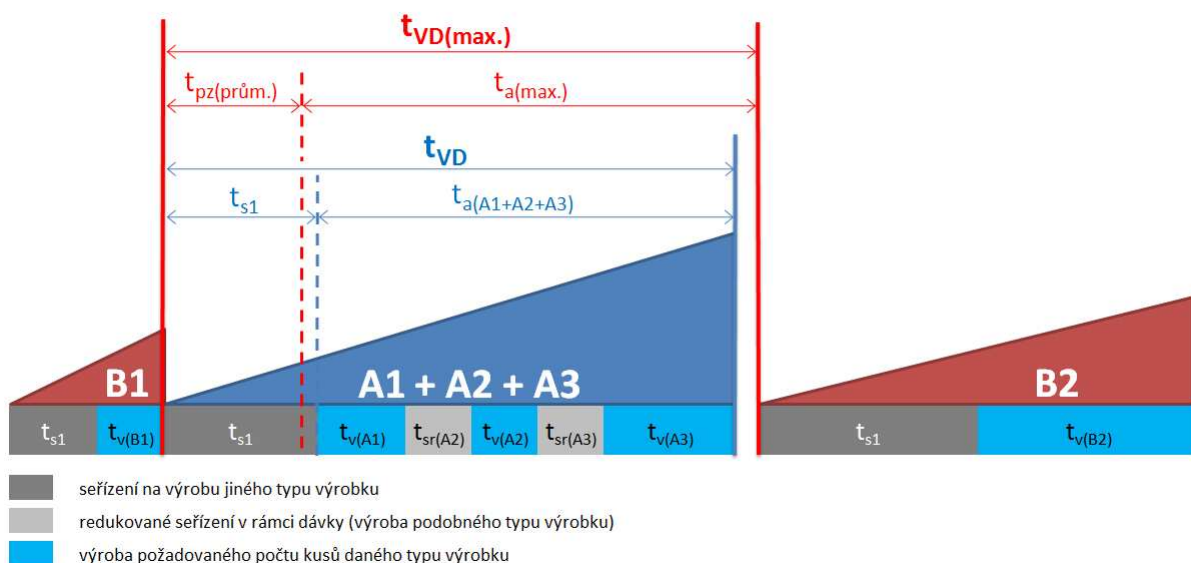
znamenaloby to fakticky delší blokování kapacity pracoviště výrobou sloučené dávky o hodnotu ($t_{s1} - t_{pz(\text{prům.})}$). Pak by zde narůstalo riziko termínových odchylek, protože pro ně je zásadní celé t_{VD} . A proto je nutné definovat nové kritérium $t_{VD(\text{max.})}$:

$$t_{VD(\text{max.})} = t_{pz(\text{prům.})} + t_{a(\text{max.})} \quad (51)$$

Výsledná podmínka pro slučování je pak:

$$t_{VD} \leq t_{VD(\text{max.})}$$

Ilustrační obrázek vyjadřující vztah mezi $t_{VD(\text{max.})}$ a t_{VD} :



Obr. 6-7 Vztah $t_{VD(\text{max.})}$ a t_{VD}

Podobný systém využívající výrobních dávek, jejichž velikost je stanovena na základě poměru mezi seřizovacími a výrobními časy, je používán například i v sériové výrobě řízené pomocí kanbanů. Avšak vzhledem k opakování výroby je možno stanovit velikost dávek jako pevnou. Zároveň i seřizovací časy jsou standardizovány. V případě neopakované výroby muselo být přistoupeno k úpravě tohoto modelu, kdy většina dávek má kvůli počtu objednaných kusů menší velikost, než by byla teoreticky vypočtená hodnota. V případě podobnosti čekajících zakázek je možno provést jejich sloučení, které je však shora omezeno dle výše popsaného modelu. To napomáhá zlepšovat produktivitu pracoviště při současné stabilizaci termínových odchylek.

6.2 Ověření upraveného modelu slučování technologicky podobných zakázek

V předchozí kapitole byl popsán návrh úprav původního modelu, které by měly vést k odstranění nedostatků nalezených během ověřovací fáze. Hlavním problémem byla nestabilita výsledků při různých nastaveních parametrů modelu. Upravený model je potřeba opět ověřit.

Pro ověření byl upraven předchozí simulační model použitý pro zjištění chování při slučování zpracování technologicky podobných zakázek. Hlavní funkční úpravou bylo nastavení limitů pro slučování zakázek. Pro každý typ výrobku byla stanovena horní časová hranice velikosti dávky – maximální doba, po kterou může sloučená výrobní dávka obsadit kapacitu pracoviště.

Protože byla oproti předchozímu modelu stanovena pro každý typ výrobku jiná časová náročnost zpracování na pracovišti, byly nastaveny i různé limity.

Nově byl v modelu také rozšířen počet vyráběných typů výrobků. Oproti předchozím dvěma (A a B) pracuje upravený model se čtyřmi (A, B, C a D). Každý z nich je generován v izolovaném zdroji a prochází přes první operaci, která pro každý typ výrobku probíhá na jiném stroji (různé časy zpracování, odchylky i směnné modely). Tím se vnáší do modelu nahodilost a odchylky od plánu. Druhá operace již probíhá na pracovišti „workstation_ABCD“, které je pro všechny zakázky společné. Časy opracování jsou zde pro jednotlivé výrobky odlišné (u původního modelu byly shodné kvůli očištění výsledků průběžné doby výroby od vlivu pořadí zpracování).

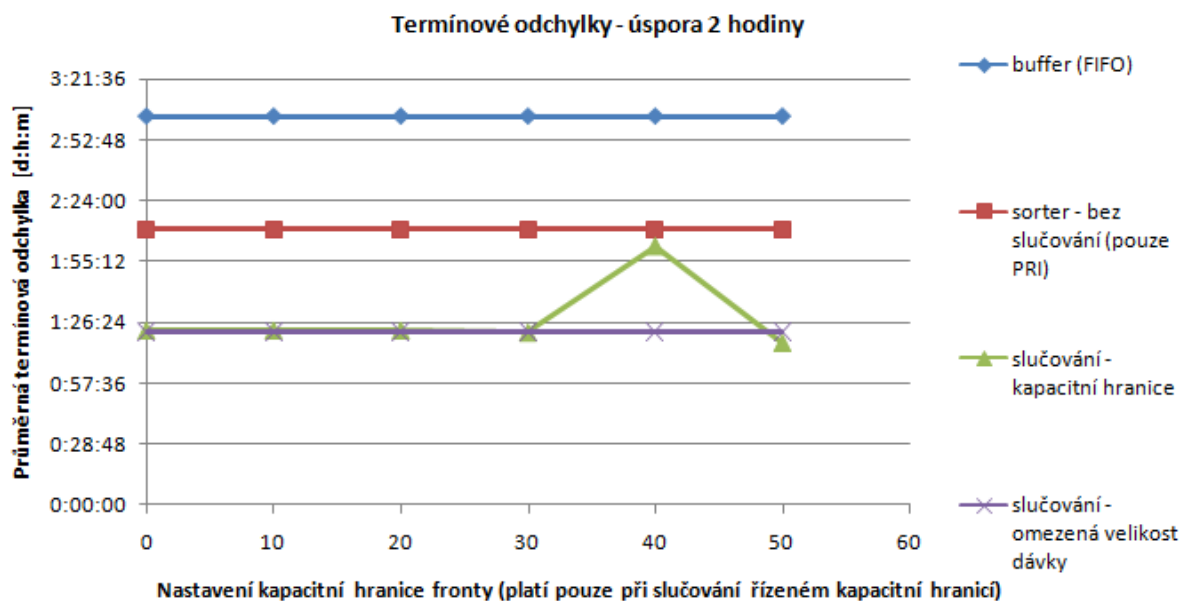
Před pracovištěm „workstation_ABCD“ se opět tvoří smíšená fronta, jejíž chování se během experimentů postupně mění. Řídí se buď strategií FIFO, nebo prioritní strategií bez slučování, prioritní strategií se slučováním při použití kapacitních hranic (původní navrhované řešení, které bylo potřeba upravit) a nakonec nově navrženým způsobem slučování při omezené velikosti sloučených dávek. Cílem experimentů bylo vzájemně porovnat výsledky při jednotlivých nastaveních chování fronty.

Při každém provedeném experimentu prošlo systémem 80 zakázek (20 od každého typu A, B, C, D). Termíny jejich dokončení byly definovány pomocí generátoru náhodných čísel. Podle nich byly dle výpočtů popsaných v přípravné fázi modelu dopočítány termíny uvolnění zakázek do výroby, které byly nastaveny ve zdrojích generujících entity. Mezi jednotlivými sadami experimentů byly stejně jako v předchozím případě měněny hodnoty časových úspor plynoucích ze společného zpracování stejného typu zakázek.

Sledovanými výstupy byly podobně jako v původním modelu průměrné termínové odchylky, průběžná průběžná doba výroby a počet dokončených zakázek od jednotlivých typů výrobků (zakázek). Výstupy experimentů jsou ve formě tabulek a grafů uvedeny v přílohách (viz Příloha D – výsledky simulace pro upravený model s omezeným slučováním technologicky podobných zakázek).

Zde je pro názornou demonstraci výsledků experimentů ponechán pouze jeden z grafů (pro nastavenou hodnotu časové úspory plynoucí z technologické podobnosti dvě hodiny). V něm je možno porovnat čtyři testované strategie:

1. FIFO,
2. PRI (bez slučování),
3. řízení dle priorit s neomezeným slučováním řízeným pouze kapacitní hranicí – původní neupravený model,
4. řízení dle priorit s omezenou velikostí sloučené dávky – upravený model.



Graf 6-1 Porovnání výsledků – úspora 2 hodiny

Z uvedených výsledků je dobře patrné, že v termínových odchytkách dle očekávání dopadá nejhůře opět prosté FIFO, které nedokáže korigovat předchozí vzniklé odchytky od plánu. Na druhém místě končí obvykle řazení dle priorit bez využití cíleného slučování zakázek. Strategie slučování řízená kapacitní hranicí fronty vykazuje obvykle lepší výsledky, někdy dokonce i nejlepší, opět se zde však vyskytují více či méně výrazné výkyvy, kvůli kterým byla provedena úprava modelu.

Výsledky upraveného modelu – slučování při omezené maximální velikosti dávky - se jeví jako nejlepší. Při různých nastaveních vycházejí termínové odchytky obvykle nejnižší. Pouze v ojedinělých případech jsou překonány slučováním dle kapacitní hranice. To je však pouze nárazové a na takové výsledky se v žádném případě nedá spoléhat, protože se vyskytují pouze při daném konkrétním nastavení parametrů, které nelze dopředu odhadnout. Navíc drobná změna parametrů v okolí tohoto „optimálního“ nastavení může vést k naprosto opačným výsledkům. Výsledky upraveného modelu vycházely pozitivně i z hlediska průběžných dob výroby.

Během provádění experimentů byly testovány také úpravy nastavení limitů výrobních dávek. Jak již bylo řečeno, ty byly vzhledem k rozdílné časové náročnosti zakázek A, B, C a D odlišné. Cílem bylo zajistit co možná nejvyrovnanější velikosti dávek jednotlivých typů. Když byly limity upraveny a velikosti dávek začaly být nerovnoměrné, výsledky experimentů se zhoršily - objevovaly se větší termínové odchytky. Docházelo také k výkyvům mezi počty dokončených zakázek. Ukázala se tedy potřeba skutečně pevného jednotného zafixování maximální velikosti sloučených dávek.

Limit časové velikosti dávek byl stanoven pevně – vždy stejný disponibilní čas pro obsazení kapacit. Se zvyšující se úsporou seřizovacích časů bylo postupně možno za stejný čas obsloužit více zakázek při stále nejlepších výsledcích. Tím se potvrdil předpoklad, že je potřeba velikost dávky stanovovat v časových jednotkách, ne v počtu sloučených zakázek.

Vzhledem k výsledkům je možno označit upravený model jako funkční a použitelný pro řízení neopakované výroby.

7 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

V průmyslové praxi bylo pozorováno mnoho problémů, které musí být každý den řešeny. Ty hlavní jsou běžně popisovány v literatuře, jiné jsou poněkud specifické a v teorii jim není věnována větší pozornost. Cílem této práce bylo nalézt řešení alespoň pro některé z mnoha problémů a nabídnout zmiňovaným podnikům nástroj k řízení jejich výrobních systémů.

Přínosy této práce můžeme nalézt jak v rovině vědecké, tak i praktické. Snahou autora nebylo nalézt nejlepší možné řešení, ale vytvořit takový model, který by bylo možno skutečně využít v každodenní průmyslové praxi. Při tom však nerezignoval na snahu o racionalizaci a směřování k ideálním stavům popisovaným v teorii. Je potřeba si uvědomit, že i aktuálně nedosažitelné cíle by neměly být zavrhovány, ale měla by být vytvářena neustálá snaha o to, se k nim postupně přibližovat.

7.1 Přínosy práce pro vědu

Přínosy práce pro oblast vědy by měly mít širší význam než jen pro aplikaci uváděnou v této práci. Nejedná se pouze o zcela dořešené problémy, ale také o podněty k dalšímu zkoumání. Autor vidí přínosy pro vědu především v následujících bodech:

- ***pojmenování některých specifických podmínek a problémů, se kterými je možno se setkat v neopakované výrobě***
Autor práce při popisování situace vycházel z několikaletého pozorování přímo v praxi, a to jak z hlediska pracovníka na různých pozicích uvnitř podniku, tak i zákazníka.
- ***pohled na průběžnou dobu výroby z hlediska aktivních pasivních stavů zakázky***
V literatuře je běžně uváděna průběžná doba výroby zakázky jako součet technologických a netechnologických časů a přerušení výroby. Naopak zde je na průběžnou dobu výroby pohlíženo jako na součet časů, kdy se určité pracoviště zabývá danou zakázkou, a časů, kdy zakázka jen pasivně čeká ve frontě na své zpracování. Pojem „zabývá se zakázkou“ v této práci neznamená pouze činnosti označované jako „přidávající hodnotu“, ale všechny činnosti, které je nutné provést, aby mohla být operace provedena. Můžeme sem zařadit samotnou výrobu dílů, ale také seřízení pracoviště, kontrolu dílů, manipulaci či přerušení chodu pracoviště. Jakkoli by se daly tyto činnosti označit z pohledu štíhlé výroby za plýtvání, není možno se bez nich obejít (bez další racionalizace).
- ***vytvoření teoretického obecného modelu zpracování zakázek od přijetí objednávky až po dodání požadovaných výrobků zákazníkovi***
Při sestavování modelu se vycházelo z procesu zpracování zakázek běžně pozorovaného v praxi. Nově navržený model byl doplněn o zdůraznění potřeby užší komunikace se zákazníkem s cílem vytvoření produktu plnícího požadavky zákazníka a zároveň racionálně využívajícího výrobní možnosti konkrétního podniku. Dále byla zmíněna potřeba hodnocení rizikovosti výrobního procesu jednotlivých zakázek. Třetí změnou oproti běžnému modelu byl návrh nového způsobu řízení fyzického zpracování zakázek.

- ***hodnocení rizikivosti výrobního procesu za účelem stanovení počtu kusů uvolněných do výroby***

Jakkoli teorie uvádí, že v zakázkové výrobě typu MTO a ETO je do výroby zadáván pouze přesný počet kusů objednaných zákazníkem, v praxi bylo pozorováno, že tomu tak ve všech případech není. Kauzální analýzou byla nalezena příčina tohoto nesouladu teorie a praxe. Pracovníci se jistí proti případům, kdy může vzniknout během výrobního procesu neshodný produkt, který by bylo nutno znovu dovyrobiť. Ačkoli se to může zdát jako plýtvání, při zvážení nákladů, které by si vyžádala dodatečná výroba chybějícího kusu (především náklady na opětovné seřízení pracovišť pouze kvůli jedinému kusu a potřeba nového přeplánování výroby – obsazení výrobních kapacit), dá se toto chování do určité míry obhájit. Je však potřeba stanovit jasná pravidla, kdy je vhodné počet kusů zadaných do výroby oproti objednavce navýšit. Proto byla vytvořena metodika pro hodnocení rizikivosti procesu, která podporuje rozhodovací proces. Při její tvorbě se vycházelo z metody FMEA, která se již řadu let běžně využívá v automobilovém průmyslu.
- ***zohlednění celkové nákladnosti zakázek při stanovování termínu uvolnění zakázek do výroby umožňující redukci vázanosti oběžných prostředků v zásobách rozpracované výroby a současně vytěžující výkyvy ve vytížení výrobních kapacit***

Při hrubém určování průměrné průběžné doby výroby se vychází ze součtu pasivních a aktivních stavů zakázky. Pokud chceme průběžnou dobu výroby ovlivnit, větší potenciál máme v oblasti pasivních stavů, protože ty jsou závislé především na řízení výroby. Při stanovování doby trvání pasivních stavů je možno vycházet buď z historických dat o čekání, nebo z výpočtů dle teorie hromadné obsluhy. Takto stanovený čas byl označen jako pasivní. Byla však vyslovena hypotéza, že vypočtený čas by měl být dále upraven na základě nákladnosti zakázky. Nadprůměrně nákladné zakázky by měly mít co nejkratší průběžnou dobu výroby, aby se redukovaly zásoby rozpracované výroby. Naopak zakázky, jejichž výrobní náklady jsou nízké, mohou mít průběžnou dobu výroby delší, protože v sobě neváží tak velký objem oběžných aktiv, a mohou čekat ve výrobním systému připravené k doplnění poklesu kapacitního vytížení pracovišť. Dle nákladnosti zakázek pak můžeme vypočtené pasivní časy zakázek vhodně korigovat. Korigované hodnoty byly označeny jako aktivní, protože zohledňují nejen stav systému, ale i ekonomické potřeby.
- ***rozbor zákazníků z hlediska požadavků na termín dodání***

Zatímco v opakované výrobě je jedním ze základních požadavků dodávat zboží přesně ve smluvený čas (princip JIT), v prostředí zakázkové neopakované výroby jsou zákazníci často ochotni akceptovat dřívější termíny dodání. S ohledem na tuto odlišnost práce krátce rozebírá možný způsob určování tzv. bezpečnostního okna (času mezi odvedením hotových výrobků na sklad a dodáním zboží zákazníkovi).
- ***analýza chování výrobního systému při slučování zpracování technologicky podobných zakázek***

V neopakované, ale také v opakované výrobě se můžeme setkat se situacemi, kdy ve frontě před pracovištěm čeká více zakázek, přičemž některé z nich vyžadují podobné nastavení výrobního pracoviště. Řídící pracovníci pak musí řešit otázku, jestli je výhodné měnit pořadí ve frontě dané určitým kritériem a zpracovávat společně zakázky, které jsou si technologicky podobné. Výsledky ověřování prokázaly, že slučování může přinášet pozitivní výsledky v oblasti termínových odchylek i průběžných dob výroby. Je však potřeba nastavit pravidla, která objem slučování vhodně omezí. Neřízené slučování totiž může vést naopak ke zhoršení výsledků.

7.2 Přínosy práce pro praxi

Model řízení zakázek navržený v této práci vychází z praxe, snaží se řešit některé z problémů a chce své výstupy do praxe opět vrátit. Autor při tvorbě modelu kladl důraz především na jednoduchost. Příliš složitá řešení v praxi ve většině případů nenalézají svá uplatnění a pro mnoho pracovníků jsou nesrozumitelná. Přínosy pro praxi jsou úzce provázány s dříve uvedenými přínosy pro vědu a měly by být následující:

- ***vytvoření jednoduchého modelu řízení zakázek reflektující specifické podmínky neopakované zakázkové výroby v malých podnicích***

Základním problémem optimalizačních algoritmů pro rozvrhování výroby je jejich závislost na kvalitě vstupních dat. Ta již z podstaty problému nemohou být spolehlivá. Většinou jsou založena spíše na hrubých odhadech než na výpočtech a ověřených časech. Provádění složité optimalizace s nespolehlivými vstupy pak pozbývá smysl. Proto navržený model nepracuje s výrobním plánem. Vychází se pouze z hrubého průměrného časové plánu zpracování stanoveného pro každou zakázku izolovaně (bez uvažování konkrétních kolizí zakázek na strojích). Následné řízení fyzického toku pak probíhá na základě odchylek skutečného průběhu od hrubého plánu.

- ***možnost úspory výrobních nákladů při zohlednění rizikovosti výrobního procesu zakázky***

Rozhodování o počtu kusů zadaných do výroby by mělo být podloženo daty. Jestliže vykazuje výrobní proces dané zakázky vysokou míru rizika vzniku neshodných výrobků, může být výhodnější zadat do výroby větší počet kusů, než kolik bylo objednáno zákazníkem. Rozhodující jsou v tomto případě především náklady na seřízení pracovišť a využití materiálu. Tato práce nabízí možný způsob porovnání nákladů při výrobě pouze objednaného počtu kusů, nebo výroby navýšené objednávky.

- ***návrh způsobu stanovení průměrné průběžné doby výroby zakázky bez nutnosti tvorby výrobního plánu***

Výpočet průběžné doby výroby je důležitý především kvůli určení časového okamžiku uvolnění zakázky do výroby. Jak bylo zmíněno dříve, tato práce se dívá na průběžnou dobu výroby jako na součet aktivních a pasivních stavů zakázky. Pro výpočet doby trvání aktivního stavu zakázky na jednotlivých pracovištích nabízí tato práce jednoduchý způsob zohledňující plánované i neplánované prostoje. Určení doby trvání

pasivního stavu je založeno buď na historických datech, nebo může být využito teorie hromadné obsluhy.

▪ ***návrh systému řízení pořadí zpracování zakázek dle odchylek od průměrného časového plánu zpracování***

Vzhledem k velkému množství odchylek skutečnosti od plánu je jednou z důležitých rolí řídicích pracovníků určování pořadí zpracování zakázek čekajících před pracovišti na opracování. To je často činěno bez dostatku potřebných informací nebo na základě intuice. Navrhovaný model řízení se snaží rozhodování podložit informacemi. Základním parametrem pro řazení zakázek ve frontě je priorita určovaná podle míry odchylky skutečnosti od plánu. Zakázky s větším zpožděním jsou řazeny ve frontě na přední místa tak, aby byla odchylka redukována. Někdy není možno z různých důvodů zpracovat první čekající zakázku. V takovém případě je vybrán další navrhovaný čekající úkol a priorita u přeskočené zakázky se navyšuje. Model tak není dogmatický, ale spíše doporučuje nejlepší řešení za daných aktuálních podmínek. Systém neustále udržuje všechna potřebná data o aktuálním stavu a stává se podporou pro nezastupitelnou roli lidského rozhodování. Navržený koncept vycházející vždy z aktuální situace v provozu představuje alternativu k běžně používanému řízení dle výrobního plánu, které je v okamžiku, kdy dojde k odchylkám, problematické a neposkytuje potřebná data.

▪ ***snížení termínových odchylek a zkrácení průběžné doby výroby zakázek pomocí slučování zpracování technologicky podobných zakázek***

Práce ukazuje potenciál spočívající ve slučování zpracování technologicky podobných zakázek. Zároveň naznačuje možné problémy, které může neřízené slučování způsobit. Původní hypotéza, že by slučování zakázek mělo probíhat až po dosažení určité délky fronty, se nepotvrdila. Dle výsledků ověření chování modelu pomocí simulace se jako nejlepší ukázalo být průběžné slučování bez ohledu na objem čekající rozpracované výroby. Avšak velikost sloučené výrobní dávky musí být omezena.

▪ ***možnost uplatnění teoretického modelu v informačních systémech***

Autor vidí reálnou možnost uplatnění navrhovaného modelu řízení zakázek v informačních systémech. Ty dnes většinou pracují dle klasického konceptu vytvářejícího výrobní plán. Kvůli velkému množství odchylek však není vytvořený výrobní plán v mnoha firmách používán a bývá nahrazován výrobními poradami. Navržený model s odchylkami počítá a představuje alternativu složité tvorby výrobních plánů a porad. Jedná se o jednoduchý algoritmus, který by nemělo být těžké převést do počítačové podoby.

▪ ***decentralizace řízení***

V případě umístění počítačových terminálů v provozu je možno získávat data o aktuální situaci (průběh časového zpracování, přehled zakázek ve frontách), nenáročným způsobem je zpracovat (vyhodnocení odchylek, přiřazení priorit,

zhodnocení technologické podobnosti) a výstupy vrátit ve srozumitelné formě seřazených zakázek ve frontách zpět. Díky tomu je možno decentralizovat řízení. Rozhodování o tom, která zakázka bude zpracována jako další, již nemusí být pouze záležitostí mistra, ale může být delegována přímo na obsluhu pracoviště. Takto se přibližujeme k autonomnímu řízení známému ze sériové výroby v podobě kanbanu.

8 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ZKOUMÁNÍ DANÉ PROBLEMATIKY

Zpracovávané téma řízení zpracování zakázek je natolik široké, že není v žádném případě možné jej beze zbytku popsat v jediné práci. I kdyby tomu tak bylo, zlepšování je nikdy nekončící proces. Jen těžko je možno tvrdit, že jsme v jakékoli fázi dosáhli nejlepšího možného řešení.

Autor nepředpokládá, že by touto prací byla problematika vyřešena. Vidí svou práci spíše jako první krok na dlouhé cestě, kterou bude muset řízení neopakované výroby jistě ještě projít, aby se přiblížilo k úrovni, na které jsou nyní firmy zabývající se sériovou výrobou.

Protože zpracovávané téma je široké, nebylo možno všechny myšlenky uvedené v této práci řádně rozpracovat. Pozornost by si zasloužilo například řízení průchodu zakázek dle jejich nákladnosti. Bylo by potřeba dořešit, jak nastavit hranice pro korigování doby trvání pasivního stavu zakázky, a ověřit chování modelu pomocí simulace. I základní stanovení výchozích hodnot doby čekání zakázky ve frontě by bylo vhodné dále rozpracovat. Otázkou je, zda by bylo možné nalézt analytické řešení pro model řídící se dle neustále se měnících priorit, navíc kombinovaný s občasným slučováním zakázek dle technologické podobnosti.

Dále by bylo potřeba definovat klíčové prvky podobnosti zakázek pro běžně používané technologie ve strojírenské výrobě. Ty by mohly být doplněny kvantifikací možných úspor plynoucích ze vzájemné shody jednotlivých parametrů.

Významným krokem při zavádění navrženého modelu do praxe by bylo vytvoření jeho počítačové reprezentace. Pokud by toto bylo vyřešeno, bylo by možné zahájit první testování modelu v reálném provozu, zjišťování a odstraňování nedostatků, kterým se jistě nedá zcela vyskytnout.

ZÁVĚR

Obsahem práce bylo vytvoření modelu řízení zpracování zakázek v malých podnicích zabývajících se neopakovanou výrobou. Oblast řešení byla zvolena především s ohledem na nižší pozornost, která je jí v literatuře věnována. Navíc dle statistik Evropské unie jsou malé podniky velmi důležitou součástí národního hospodářství.

Řešení problému nebylo jednoduché a odpovídalo složitosti řízení neopakované výroby. Během tvorby práce se zkoumaly různé způsoby řešení, kdy ne všechny přinášely požadované výsledky a často byly pouze slepou uličkou. Výsledný vytvořený model popisovaný v této práci se snaží nabídnout alternativu ke klasickému způsobu řízení dle výrobního plánu. Přihlíží ke specifickým podmínkám neopakované výroby a možnostem malých podniků. Jistě je možno najít mnoho jiných řešení, která by vykazovala lepší výsledky, avšak požadovala by také větší zdroje. Při tvorbě modelu byla zohledněna nízká kvalita vstupních dat, nižší úroveň organizace výrobního systému i omezené lidské zdroje, které jsou v takových podnicích k dispozici.

Snahou při tvorbě modelu bylo docílit takového stavu, kdy by bylo možné decentralizovat řízení tak, jako je tomu u sériových výrob řízených pomocí kanbanu. Při tom však nebylo možno aplikovat stejné postupy jako u opakované výroby. Model ukazuje cestu, jak získávat informace z výroby, zpracovávat je a vracet zpět do provozu. Zpětná vazba musí být srozumitelná i běžným pracovníkům, aby se dokázali rozhodnout, v jakém pořadí čekající zakázky zpracovávat. Využíváme tak lidský potenciál, zavádíme autonomní řízení pracoviště a obohacujeme pracovní náplň.

Ověření navrhovaného modelu pomocí počítačové simulace potvrdilo vhodnost navrhovaného způsobu řízení pořadí zpracování zakázek dle priorit určených na základě zpoždění zakázek proti hrubému časovému plánu. Společně s řízeným slučováním zpracování technologicky podobných zakázek, které umožňuje redukovat objem časů nastavení, umožňuje snižovat odchylky od požadovaných termínů dokončení a zkracovat průběžnou dobu výroby, což by se mělo pozitivně projevit na zásobách rozpracované výroby.

Kromě oblasti řízení zpracování zakázek byla řešena také otázka stanovení velikosti výrobní dávky s ohledem na rizikovitost výrobního procesu. Jakkoli je běžně uvažována velikost výrobní dávky v neopakované zakázkové výrobě rovna objednávkce od zákazníka, snaží se tato práce ukázat, že náklady plynoucí z rizika mohou být v některých případech tak vysoké, že je výhodnější navýšit výrobní dávku nad rámec objednávky, jakkoli to může být považováno z pohledu moderního řízení za plýtvání.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

Knihy:

- [1] BANGSOW, Steffen. *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. Berlin: Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-05073-2
- [2] BASL, Josef, MAJER, Pavel, ŠMÍRA, Miroslav. *Teorie omezení v podnikové praxi*. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0613-X
- [3] BASL, Josef. *Podnikové informační systémy, podnik v informační společnosti*. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0214-2
- [4] DENNIS, Pascal. *Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. 2nd ed. New York: Productivity Press, 2007. ISBN 978-1-56327-356-8
- [5] DILWORTH, James, B.: *Production and Operations Management*. 3rd edition, New York : Random House, Inc., 1986. ISBN 0-394-35111-8
- [6] EDWIN CHENG, T., C., PODOLSKY, S. *Just-in-Time Manufacturing: An introduction*. London: Chapman & Hall, 1996. ISBN 0412 73540 7
- [7] FRISCH, Ragnar: *Theory of Production*. Springer, 1964. ISBN 978-90-481-8334-0
- [8] GREGOR, Milan, MIČIETA, Branislav, BUBENÍK, Peter. *Plánovanie výroby*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilíně, 2005. ISBN 80-8070-427-9
- [9] GULATI, Ramesh. *Maintenance and reliability best practises*. New York: Industrial Press, Inc., 2009. ISBN 978-0-8311-3311-5
- [10] HAYES, Robert, H., WHEELWRIGHT, Steven, C., CLARK, Kim, B. *Dynamická výroba: Vytváření učící se organizace*. Praha: Victoria publishing, 1993. ISBN 80-85605-20-1
- [11] HILL, Arthur, V. *The Encyclopedia of Operations Management: A field manual and glossary of operations management terms and concepts*. New Jersey: Pearson Education. Inc., 2012. ISBN-13: 978-0-13-288370-2
- [12] HORVÁTH, Gejza. *Logistika výrobních procesů a systémů*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2000. ISBN 80-7082-625-8
- [13] HUŠEK, Roman, MAŇAS, Miroslav. *Matematické modely v ekonomii*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00098-X

- [14] KEŘKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vydání. Praha: C. H. Beck, 2009. ISBN 978-80-7400-119-2
- [15] Kolektiv autorů a konzultantů. *Slovník cizích slov*. Praha: Encyklopedický dům, 1996. ISBN 80-90-1647-8-1
- [16] KOPEČEK, Pavel, HOLUB, Vojtěch. *Počítačová podpora ve strojírenství*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. ISBN 80-7082-798-X
- [17] KOŠTURIÁK, Ján, BOLEDOVIČ, Ľudovít, KRIŠŤAK, Jozef, MAREK, Miroslav. *Kaizen: Osvědčená praxe českých a slovenských podniků*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2349-2
- [18] KUNOVSKÝ, Jan, SURMA, Jaroslav, BAČOVÁ, Hana. *Ekonomika a řízení*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1989. ISBN 978-80-214-1050-3
- [19] LEŠČIŠIN, Michal, LÍBAL, Vladimír., ŠPERLICH, Adolf. *Organizácia a riadenie výroby*. 2. vydání. Praha: ALFA Bratislava – SNTL, 1987
- [20] LÍBAL, Vladimír a kol: *Organizace a řízení výroby*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00050-5
- [21] LIOTINE, Matthew. *Mission-critical network planning*. Norwood: Artech House, Inc., 2003, ISBN 1-58053-516-X
- [22] LOVE, Jonathan. *Process Automation Handbook: A Guide To Theory and Practice*. London: Springer-Verlag London Limited, 2007. ISBN 978-1-84628-281-2
- [23] MAKOVEC, Jaromír. *Základy řízení výroby*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1991. ISBN 978-80-707-9110-3
- [24] MASAÁKI, Imai. *Kaizen: Metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-1621-0
- [25] MCKAY, Kenneth, N., WIERS, Vincent, C., S. *Practical Production Control: A Survival Guide for Planners and Schedulers*. USA: J. Ross Publishing, Inc., 2004. ISBN 1-932159-30-4
- [26] MELČÁK, Miloš. *Výrobní management: učební texty*. Zlín: Vysoké učení technické v Brně, 1999. ISBN 80-214-1393-X
- [27] MISRA, Krishna, B. *Handbook of Performability Engineering*. London: Springer-Verlag London Limited, 2008. ISBN 978-1-84800-131-2
- [28] MOLNAR, Zdeněk, MILDEOVÁ, Stanislava, ŘEZANKOVÁ, Hana, BRIXÍ, Radim, KALINA, Jaroslav. *Pokročilé metody vědecké práce*. Praha: Profess Consulting s.r.o., 2012. ISBN 978-80-7259-064-3

- [29] MORTON, Thomas, E., PENTICO, David, W. *Heuristic Scheduling Systems : With Applications to Production Systems and Project Management*. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1993. ISBN 0-471-57819-3
- [30] NOVÁK, Josef. *Organizace a řízení: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007
- [31] NOVOTNÝ, Jiří a kol. *Činitelé podněcující a tlumící zakládání a rozvoj malých a středních podniků v České republice jako členské zemi Evropské unie*, Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7380-092-5
- [32] PINEDO, Michael, L. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. 3rd edition. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2008. ISBN 978-0-387-78934-7
- [33] RYDVALOVÁ, Petra. *Malé a střední podnikání v podmínkách České republiky*. Liberec: VÚTS a.s., 2011. ISBN 978-80-87184-16-5
- [34] SEDLÁK, Mikuláš, LEŠČIŠIN, Michal. *Organizácia výroby priemyselných podnikov*. Bratislava: Nakladateľstvo ALFA, n. p., 1971. ISBN 63-554-71
- [35] SIXTA, Josef, ŽIŽKA, Miroslav. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer press, 2009. ISBN-978-80-251-2563-2
- [36] TOMEK, Gustav, VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby a nákupu*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN-978-80-247-1479-0
- [37] TOMEK, Gustav, VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby*, Praha: Grada Publishing, 2000. ISBN 80-7169-955-1
- [38] TOŠENOVSKÝ, Josef, NOSKIEVIČOVÁ, Darja. *Statistické metody zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-040-X
- [39] VEBER, Jaromír, SRPOVÁ, Jitka. *Podnikání male a střední firmy*. 2. aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing, 2008. ISBN 978-80-247-2409-6
- [40] WÖHE, Günter, KISLINGEROVÁ, Eva: *Úvod do podnikového hospodářství*. 2. přepracované a doplněné vydání. Praha: C.H.Beck, 2007. ISBN-978-80-7179-897-2

Internetové zdroje:

- [41] EVROPSKÁ KOMISE. *Nová definice malých a středních podniků: Uživatelská příručka a vzor prohlášení*. [online]. Evropské společenství, 2006. [cit. 5.1.2013]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sme/files/sme_definition/sme_user_guide_cs.pdf
- [42] FRIEBELOVÁ, Jana. *Teorie hromadné obsluhy*. [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. [cit. 29.12.2012]. Dostupné z: www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/rmp/data/teorie_oa/OBSLUHA.pdf
- [43] HÁDEK, Ladislav. *Organizace a řízení výroby I*. [online]. Ostrava: Vysoká škola podnikání, a.s., 2005. [cit. 9.3.2013]. ISBN 80-86764-37-0. Dostupné z: <http://www.1kpa.wz.cz/orv.pdf>
- [44] HÁDEK, Ladislav. *Organizace a řízení výroby II*. [online]. Ostrava: Vysoká škola podnikání, a.s., 2007. [cit. 14.3.2013]. ISBN 978-80-86764-39-9. Dostupné z: http://novyjicin.tym.cz/Opory/III.rocnik_semestr%20zimni/organizace_a_rizeni_vyroby_II.pdf
- [45] ERP KARAT. [online]. [cit. 1.4.2013]. Dostupné z: <http://www.karatsoftware.cz/erp-karat/funkcionalita/planovani-rizeni-vyroby-aps/>
- [46] LEGÁT, Václav. *7 Plánování výroby* [online]. Praha: Technická fakulta ČZU v Praze. [cit. 25.12.2012]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~legat/Vyuka/Servisni_Logistika/Prednasky/07_Planovani_vyroby.ppt
- [47] LOFFELMANN, Jiří. *Plánování podle typů výroby. System On Line* [online]. 1-2/2010. [cit. 12.11.2011]. ISSN 1802-615X. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/planovani-podle-typu-vyroby.htm>

Další zdroje:

- [48] BEHÚN, Martin. *Přístupy k racionalizaci výrobních procesů*. Plzeň, 2012. Písemná práce ke státní doktorské zkoušce. Západočeská univerzita. Fakulta strojní. Katedra průmyslového inženýrství a managementu. Vedoucí práce Jana KLEINOVÁ
- [49] *Online kurz: Průmyslová logistika*. [online]. ZČU v Plzni. [cit. 8.4.2013]. Dostupné z: <http://athena.zcu.cz/kurzy/pimu/000/HTML/55/>
- [50] VOTAVA, Václav, ULRYCH, Zdeněk, RAŠKA, Pavel, HOŘEJŠÍ, Petr. *Simulace ve strojírenství – přednášky*. [CD-rom]. Plzeň: ZČU v Plzni, 2006

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Publikované práce:

KLEINOVÁ, Jana, BEHÚN, Martin. Order processing in non-repetitive production including software aid suitability assessment. In *Transfer inovací*, 2012, roč. Neuveden, č. 23, s. 22-27. ISSN: 1337-7094

BEHÚN, Martin. Zlepšování procesů s využitím DOE a počítačové simulace. In *Modelování a optimalizace podnikových procesů 2009*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009. s. 1-8. ISBN: 978-80-7043-844-2

BEHÚN, Martin. Analýza a optimalizace handlingu zakázek na oddělení přípravy výroby vrstev. In *Soutěžní přehlídka studentských a doktorských prací FST 2008*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. s. 57-63. ISBN: 978-80-7043-667-7

BEHÚN, Martin. *Přístupy k racionalizaci výrobních procesů*. Plzeň, 2012. Písemná práce ke státní doktorské zkoušce. Západočeská univerzita. Fakulta strojní. Katedra průmyslového inženýrství a managementu. Vedoucí práce Jana KLEINOVÁ

BEHÚN, Martin. *Analýza a optimalizace handlingu na oddělení přípravy výroby vrstev*. Plzeň, 2008. Diplomová práce. Západočeská univerzita. Fakulta strojní. Katedra průmyslového inženýrství a managementu. Vedoucí práce Jana KLEINOVÁ

BEHÚN, Martin. Když se řekne 5S In *Zpravodaj Faurecia Emissions Control Technologies 2012*. Písek: Faurecia Automotive Czech Republic, 2012.

BEHÚN, Martin. Kanban. In *Zpravodaj Faurecia Emissions Control Technologies 2013*. Písek: Faurecia Automotive Czech Republic, 2013.

BEHÚN, Martin. Princip fungování kanban – vyzvedávací kanban. In *Zpravodaj Faurecia Emissions Control Technologies 2013*. Písek: Faurecia Automotive Czech Republic, 2013.

BEHÚN, Martin. Princip fungování výrobního kanbanu. In *Zpravodaj Faurecia Emissions Control Technologies 2013*. Písek: Faurecia Automotive Czech Republic, 2013.

BEHÚN, Martin, KLEINOVÁ Jana, KAMARYT Tomáš. Risk assessment of non-repetitive production processes – článek přijat na konferenci *24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013*. Zadar: DAAAM International Vienna, 2013.

BEHÚN, Martin, KLEINOVÁ Jana, KAMARYT Tomáš. Scheduling of MTO production – FIFO, priority and group scheduling policy comparison – článek přijat na konferenci *22nd IBIMA Conference*. Rome: Ibima Publishing, 2013.

Výzkumné zprávy:

KLEINOVÁ, Jana, ROUBAL, Jan, KLEKNER, Jiří, CANDROVÁ, Kateřina, BEHÚN, Martin. Ekonomické efekty využití simulačních metod – Interní grant FST 2009 na téma Multidisciplinární navrhování a modelování virtuálního výrobního systému, Západočeská univerzita v Plzni, 2007

Nepublikované práce:

BEHÚN, Martin. Tvorba simulačních modelů v softwarovém prostředí Quest, manuál pro výuku vysvětlující základy tvorby jednoduchých modelů v simulačním softwaru Quest, Západočeská univerzita v Plzni, Katedra průmyslového inženýrství a managementu, 2008

BEHÚN, Martin. Metody racionalizace výrobních procesů s ohledem na náklady, podklad pro zkoušku z předmětu Řízení výrobních a výrobních nákladů, Plzeň, 2008

BEHÚN, Martin. Taguchiho pojetí nákladů na jakost, podklad pro zkoušku z předmětu Moderní rozhodovací metody ve strojírenství, Plzeň, 2009

BEHÚN, Martin. Teorie omezení a racionalizace, podklad pro zkoušku z předmětu Podnikové informační systémy, Plzeň, 2010

BEHÚN, Martin. Problematika kalkulace přímých nákladů na plechový materiál, článek pro časopis Strojírenská technologie

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - výsledky simulačních experimentů pro ověření MASD	... 171
Příloha B – výsledky simulace pro porovnání řízení dle FIFO a dle priorit	... 174
Příloha C – výsledky simulace pro slučování výrobních dávek podle technologické podobnosti	... 176
Příloha D – výsledky simulace pro upravený model s omezeným slučováním technologicky podobných zakázek	... 182

Příloha A - výsledky simulačních experimentů pro ověření MASD

x [hod.]	x [sec.]	y [sec.]	z [sec.]	vypočtená MASD [hod.]	simulovaná MASD NEGEXP (48;24;72) [hod.]	simulovaná MASD UNIFORM (24;48) [hod.]	NEGEXP		UNIFORM	
							rozdíl [hod.]	% odchylka	rozdíl [hod.]	% odchylka
1	3600	28800	57600	3,00	2,68	3,10	0,32	10,65	-0,10	-3,35
2	7200	28800	57600	6,00	5,37	7,67	0,63	10,49	-1,67	-27,85
3	10800	28800	57600	9,00	8,47	10,22	0,53	5,88	-1,22	-13,56
4	14400	28800	57600	12,00	12,42	15,35	-0,42	-3,50	-3,35	-27,92
5	18000	28800	57600	15,00	16,37	16,35	-1,37	-9,14	-1,35	-9,00
6	21600	28800	57600	18,00	19,10	18,90	-1,10	-6,11	-0,90	-5,00
7	25200	28800	57600	21,00	22,57	20,42	-1,57	-7,48	0,58	2,76
8	28800	28800	57600	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	32400	28800	57600	27,00	26,68	27,57	0,32	1,18	-0,57	-2,11
10	36000	28800	57600	30,00	29,37	31,67	0,63	2,10	-1,67	-5,57
11	39600	28800	57600	33,00	32,47	34,22	0,53	1,60	-1,22	-3,70
12	43200	28800	57600	36,00	36,42	38,32	-0,42	-1,17	-2,32	-6,45
13	46800	28800	57600	39,00	39,52	39,32	-0,52	-1,33	-0,32	-0,82
14	50400	28800	57600	42,00	42,62	43,42	-0,62	-1,48	-1,42	-3,38
15	54000	28800	57600	45,00	45,73	44,42	-0,73	-1,62	0,58	1,29
16	57600	28800	57600	48,00	48,00	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	61200	28800	57600	51,00	49,83	51,57	1,17	2,29	-0,57	-1,12
18	64800	28800	57600	54,00	52,93	55,15	1,07	1,98	-1,15	-2,13
19	68400	28800	57600	57,00	56,47	57,70	0,53	0,93	-0,70	-1,23
20	72000	28800	57600	60,00	60,42	62,32	-0,42	-0,70	-2,32	-3,87
21	75600	28800	57600	63,00	63,10	64,35	-0,10	-0,16	-1,35	-2,14
22	79200	28800	57600	66,00	66,62	67,93	-0,62	-0,94	-1,93	-2,93
23	82800	28800	57600	69,00	69,73	69,97	-0,73	-1,06	-0,97	-1,41
24	86400	28800	57600	72,00	72,00	72,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. A-1 Výsledky sady simulačních experimentů – jednosměrný provoz

x [hod.]	x [sec.]	y [sec.]	z [sec.]	vypočtená MASD [hod.]	simulovaná MASD NEGEXP (48;24;72) [hod.]	simulovaná MASD UNIFORM (24;48) [hod.]	NEGEXP		UNIFORM	
							rozíl [hod.]	% odchylka	rozíl [hod.]	% odchylka
1	3600	57600	28800	1,50	1,45	1,52	0,05	3,32	-0,02	-1,34
2	7200	57600	28800	3,00	3,15	2,52	-0,15	-5,00	0,48	16,00
3	10800	57600	28800	4,50	4,50	3,78	0,00	0,00	0,72	16,00
4	14400	57600	28800	6,00	5,73	5,10	0,27	4,50	0,90	15,00
5	18000	57600	28800	7,50	6,97	6,96	0,53	7,06	0,54	7,20
6	21600	57600	28800	9,00	8,67	9,00	0,33	3,67	0,00	0,00
7	25200	57600	28800	10,50	10,35	10,53	0,15	1,43	-0,03	-0,29
8	28800	57600	28800	12,00	11,58	11,93	0,42	3,50	0,07	0,58
9	32400	57600	28800	13,50	13,10	13,45	0,40	2,96	0,05	0,37
10	36000	57600	28800	15,00	14,52	15,37	0,48	3,20	-0,37	-2,47
11	39600	57600	28800	16,50	16,10	16,76	0,40	2,42	-0,26	-1,58
12	43200	57600	28800	18,00	17,90	18,82	0,10	0,55	-0,82	-4,56
13	46800	57600	28800	19,50	19,72	19,82	-0,22	-1,13	-0,32	-1,64
14	50400	57600	28800	21,00	21,18	21,20	-0,18	-0,86	-0,20	-0,95
15	54000	57600	28800	22,50	22,88	22,33	-0,38	-1,69	0,17	0,75
16	57600	57600	28800	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	61200	57600	28800	25,50	25,45	25,52	0,05	0,20	-0,02	-0,08
18	64800	57600	28800	27,00	27,15	26,52	-0,15	-0,56	0,48	1,78
19	68400	57600	28800	28,50	28,73	28,10	-0,23	-0,81	0,40	1,40
20	72000	57600	28800	30,00	29,85	29,30	0,15	0,50	0,70	2,33
21	75600	57600	28800	31,50	30,97	31,22	0,53	1,68	0,28	0,89
22	79200	57600	28800	33,00	32,67	32,88	0,33	1,00	0,12	0,36
23	82800	57600	28800	34,50	34,35	34,13	0,15	0,43	0,37	1,07
24	86400	57600	28800	36,00	35,82	35,53	0,18	0,50	0,47	1,31

Tab. A-2 Výsledky sady simulačních experimentů – dvousměnný provoz

						NEGEXP	
x [hod.]	x [sec.]	y [sec.]	z [sec.]	vypočtená MASD [hod.]	simulovaná MASD NEGEXP (48;24;72) [hod.]	rozdíl [hod.]	% odchylka
1	3600	51000	35400	1,69	1,65	0,04	2,59
2	7200	51000	35400	3,39	3,47	-0,08	-2,42
3	10800	51000	35400	5,08	5,02	0,06	1,22
4	14400	51000	35400	6,78	6,38	0,40	5,85
5	18000	51000	35400	8,47	8,10	0,37	4,37
6	21600	51000	35400	10,16	10,15	0,01	0,14
7	25200	51000	35400	11,86	11,67	0,19	1,59
8	28800	51000	35400	13,55	13,32	0,23	1,72
9	32400	51000	35400	15,25	14,98	0,27	1,75
10	36000	51000	35400	16,94	16,65	0,29	1,72
11	39600	51000	35400	18,64	18,55	0,09	0,46
12	43200	51000	35400	20,33	20,52	-0,19	-0,94
13	46800	51000	35400	22,02	22,45	-0,43	-1,94
14	50400	51000	35400	23,72	23,82	-0,10	-0,43
15	54000	51000	35400	25,41	25,47	-0,06	-0,23
16	57600	51000	35400	27,11	27,27	-0,16	-0,61
17	61200	51000	35400	28,80	28,95	-0,15	-0,52
18	64800	51000	35400	30,49	30,20	0,29	0,96
19	68400	51000	35400	32,19	31,58	0,61	1,89
20	72000	51000	35400	33,88	34,10	-0,22	-0,64
21	75600	51000	35400	35,58	35,47	0,11	0,30
22	79200	51000	35400	37,27	36,98	0,29	0,78
23	82800	51000	35400	38,96	38,53	0,43	1,12
24	86400	51000	35400	40,66	40,33	0,33	0,81

Tab. A-3 Výsledky sady simulačních experimentů – dvousměnný provoz s přestávkami

Příloha B – výsledky simulace pro porovnání řízení dle FIFO a dle priorit

čekání [č.j.]	počet včas dokončených		čekání [č.j.]	počet včas dokončených	
	A	B		A	B
1	3	5	26	7	7
2	3	5	27	8	9
3	5	5	28	8	9
4	5	5	29	8	9
5	5	5	30	10	11
6	5	6	31	10	11
7	5	6	32	10	11
8	5	6	33	10	11
9	5	6	34	10	11
10	4	6	35	11	11
11	6	6	36	11	11
12	6	6	37	11	11
13	6	6	38	11	11
14	7	5	39	11	11
15	7	5	40	11	11
16	7	5	41	11	11
17	7	5	42	11	11
18	7	5	43	11	11
19	7	5	44	12	12
20	7	7	45	12	12
21	7	7	46	12	13
22	7	7	47	11	14
23	7	7	48	11	14
24	7	7	49	11	14
25	7	7	50	11	14

Tab. B-1 Výsledky první sady simulačních experimentů – počet včas dokončených zakázek

buffer - výběr z fronty dle FIFO				sorter - výběr z fronty dle priorit			
čekání [č.j.]	počet včas dokončených			čekání [č.j.]	počet včas dokončených		
	A	B	celkem		A	B	celkem
1	6	3	9	1	5	3	8
5	7	4	11	5	5	4	9
10	7	5	12	10	6	5	11
15	10	5	15	15	9	5	14
20	12	5	17	20	8	5	13
25	12	5	17	25	8	7	15
30	20	6	26	30	16	7	23
35	19	7	26	35	19	8	27
40	20	7	27	40	20	7	27
45	20	7	27	45	20	8	28
50	20	8	28	50	20	10	30

Tab. B-2 Počet včas dokončených zakázek při nesouměrném triangulárním rozdělení

buffer - výběr z fronty dle FIFO				sorter - výběr z fronty dle obrácených priorit			
čekání [č.j.]	počet včas dokončených			čekání [č.j.]	počet včas dokončených		
	A	B	celkem		A	B	celkem
1	3	5	8	1	3	5	8
5	5	5	10	5	5	5	10
7	5	6	11	7	7	6	13
10	4	6	10	10	7	6	13
11	6	6	12	11	6	6	12
12	6	6	12	12	7	6	13
13	6	6	12	13	7	7	14
19	7	5	12	19	8	5	13
20	7	7	14	20	7	8	15
26	7	7	14	26	6	8	14
27	8	9	17	27	9	10	19
29	8	9	17	29	9	11	20
30	10	11	21	30	9	11	20
31	10	11	21	31	9	11	20
32	10	11	21	32	9	12	21
33	10	11	21	33	9	13	22
34	10	11	21	34	8	13	21
35	11	11	22	35	12	13	25
38	11	11	22	38	14	11	25
43	11	11	22	43	13	12	25
44	12	12	24	44	12	13	25
45	12	12	24	45	13	15	28
46	12	13	25	46	14	16	30
47	11	14	25	47	14	17	31
50	11	14	25	50	13	18	31

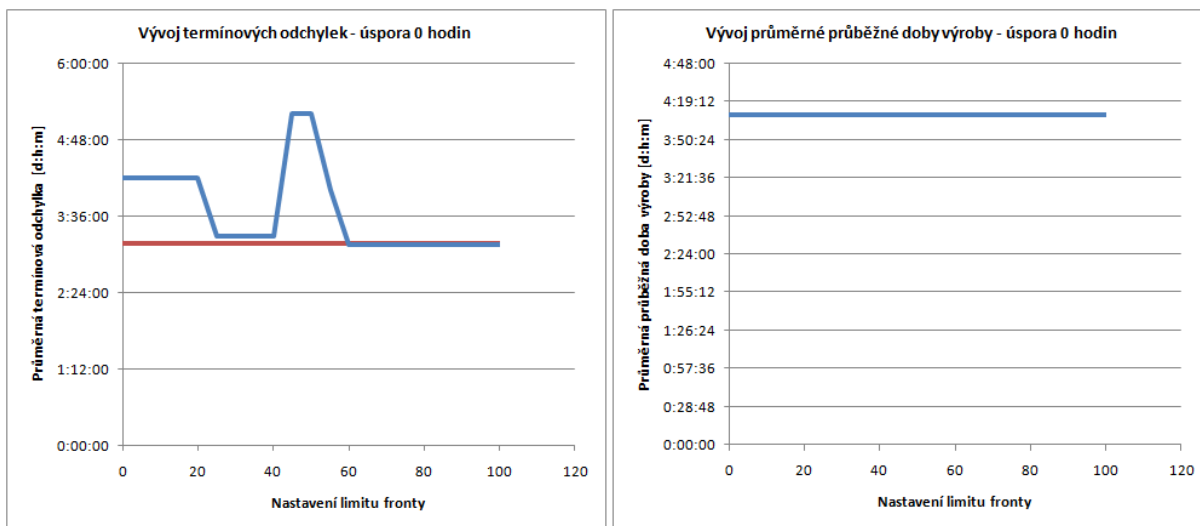
Tab. B-3 Porovnání počtu včas dokončených zakázek při řazení dle obrácených priorit

Příloha C – výsledky simulace pro slučování výrobních dávek podle technologické podobnosti

V níže uvedených grafech reprezentuje červená křivka referenční nastavení chování fronty dle FIFO, modrá pak strategii řízení dle priorit kombinovanou se slučováním dle technologické podobnosti při zohlednění kapacitní hranice.

úspora: 0 hodin				
nastavení fronty	termínová odchylka	prům. průběžná doba	včas dokončené A	včas dokončené B
buffer	3:09:49	4:09:12	7	6
sorter - limit 0	4:12:22	4:09:12	7	14
sorter - limit 5	4:12:22	4:09:12	7	14
sorter - limit 10	4:12:22	4:09:12	7	14
sorter - limit 15	4:12:22	4:09:12	7	14
sorter - limit 20	4:12:22	4:09:12	7	14
sorter - limit 25	3:18:01	4:09:12	3	10
sorter - limit 30	3:18:01	4:09:12	3	10
sorter - limit 35	3:18:01	4:09:12	3	10
sorter - limit 40	3:18:01	4:09:12	3	10
sorter - limit 45	5:12:48	4:09:12	6	19
sorter - limit 50	5:12:48	4:09:12	6	19
sorter - limit 55	4:01:08	4:09:12	6	15
sorter - limit 60	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 65	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 70	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 75	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 80	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 85	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 90	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 95	3:09:42	4:09:12	6	7
sorter - limit 100	3:09:42	4:09:12	6	7

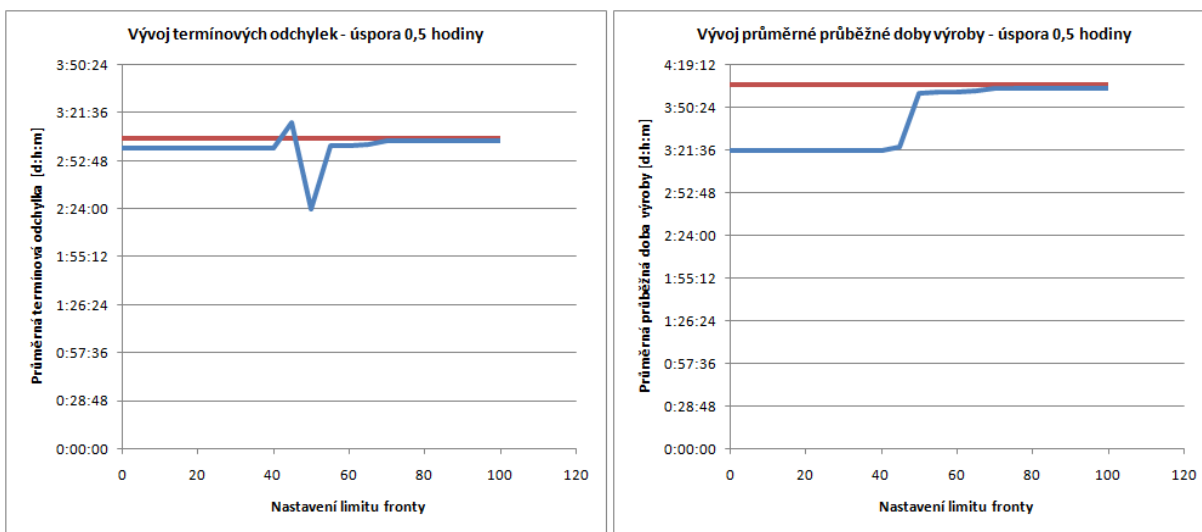
Tab. C-1 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení hodnoty časové úspory = 0 hodin



Graf C-1 Výsledky simulace při hodnotě časové úspory = 0 hodin

úspora: 0,5 hodiny				
nastavení fronty	termínová odchylka	prům. průběžná doba	včas dokončené A	včas dokončené B
buffer	3:06:06	4:05:24	7	7
sorter - limit 0	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 5	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 10	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 15	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 20	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 25	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 30	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 35	3:00:00	3:21:18	4	9
sorter - limit 40	3:00:20	3:21:32	4	9
sorter - limit 45	3:15:26	3:23:38	6	17
sorter - limit 50	2:23:51	4:00:14	6	8
sorter - limit 55	3:01:21	4:01:12	6	8
sorter - limit 60	3:01:21	4:01:12	6	8
sorter - limit 65	3:02:16	4:01:48	6	8
sorter - limit 70	3:04:16	4:03:06	6	8
sorter - limit 75	3:04:46	4:03:26	6	8
sorter - limit 80	3:04:48	4:03:27	6	8
sorter - limit 85	3:04:48	4:03:27	6	8
sorter - limit 90	3:04:48	4:03:27	6	8
sorter - limit 95	3:04:48	4:03:27	6	8
sorter - limit 100	3:04:48	4:03:27	6	8

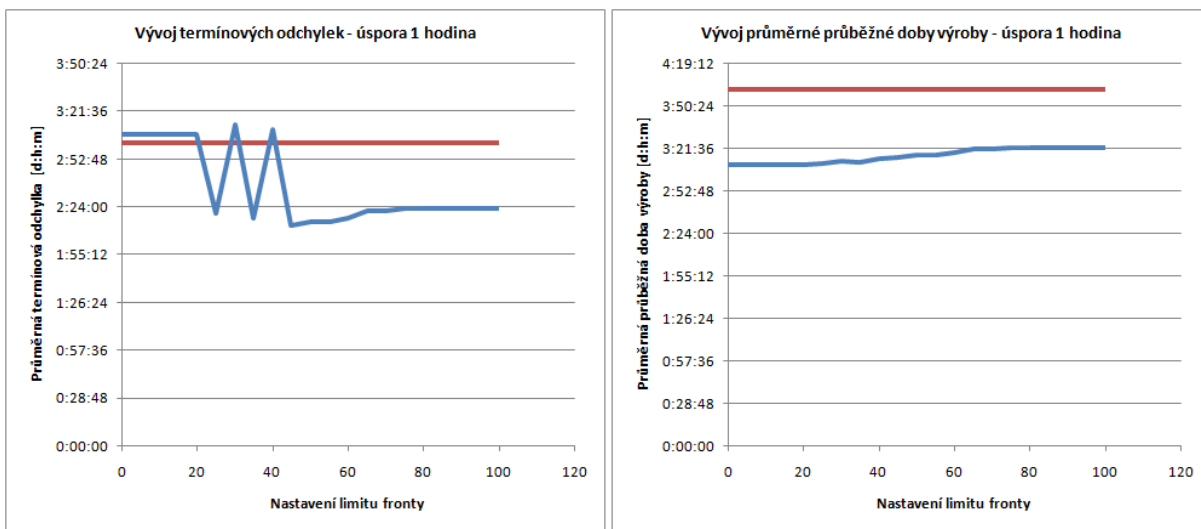
Tab. C-2 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení hodnoty časové úspory = 0,5 hodiny



Graf C-2 Výsledky simulace při hodnotě časové úspory = 0,5 hodiny

úspora: 1 hodina				
nastavení fronty	termínová odchylka	prům. průběžná doba	včas dokončené A	včas dokončené B
buffer	3:02:38	4:01:48	7	9
sorter - limit 0	3:07:44	3:10:27	10	7
sorter - limit 5	3:07:44	3:10:27	10	7
sorter - limit 10	3:07:44	3:10:27	10	7
sorter - limit 15	3:07:44	3:10:27	10	7
sorter - limit 20	3:07:44	3:10:27	10	7
sorter - limit 25	2:19:47	3:11:24	7	14
sorter - limit 30	3:13:46	3:12:48	7	19
sorter - limit 35	2:17:19	3:12:33	6	16
sorter - limit 40	3:11:00	3:14:39	7	18
sorter - limit 45	2:12:36	3:16:00	7	9
sorter - limit 50	2:14:41	3:17:15	7	8
sorter - limit 55	2:14:41	3:17:24	7	11
sorter - limit 60	2:16:51	3:18:36	7	8
sorter - limit 65	2:21:24	3:21:27	7	8
sorter - limit 70	2:21:24	3:21:27	7	8
sorter - limit 75	2:23:00	3:22:27	7	8
sorter - limit 80	2:23:00	3:22:27	7	8
sorter - limit 85	2:23:00	3:22:27	7	8
sorter - limit 90	2:23:00	3:22:27	7	8
sorter - limit 95	2:23:00	3:22:27	7	8
sorter - limit 100	2:23:00	3:22:27	7	8

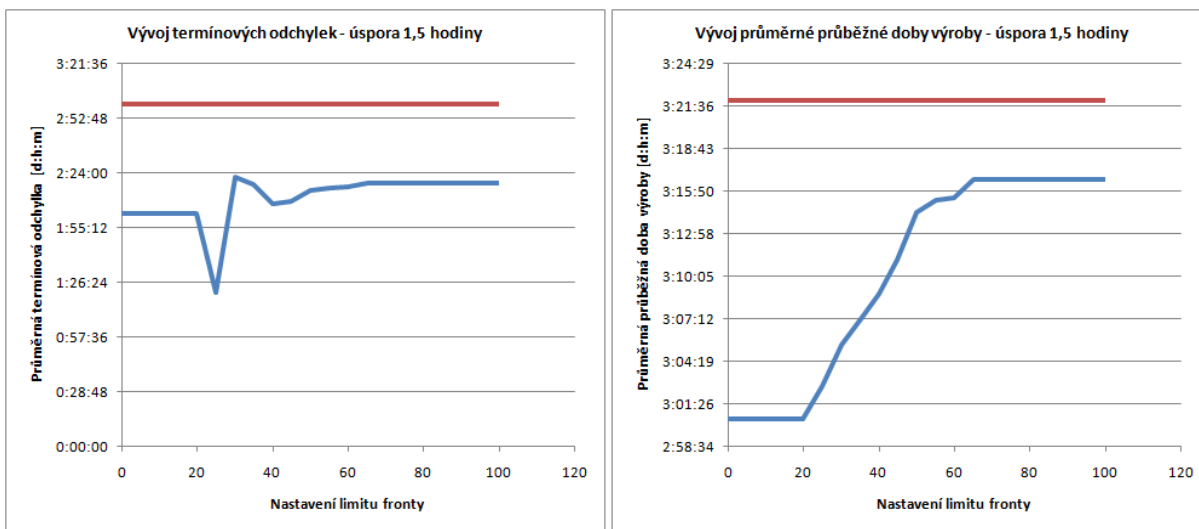
Tab. C-3 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení hodnoty časové úspory = 1 hodina



Graf C-3 Výsledky simulace při hodnotě časové úspory = 1 hodina

úspora: 1,5 hodiny				
nastavení fronty	terminová odchylka	prům. průběžná doba	včas dokončené A	včas dokončené B
buffer	3:00:35	3:22:00	7	10
sorter - limit 0	2:02:51	3:00:23	10	14
sorter - limit 5	2:02:51	3:00:23	10	14
sorter - limit 10	2:02:51	3:00:23	10	14
sorter - limit 15	2:02:51	3:00:23	10	14
sorter - limit 20	2:02:51	3:00:23	10	14
sorter - limit 25	1:21:18	3:02:35	10	14
sorter - limit 30	2:22:00	3:05:23	9	17
sorter - limit 35	2:18:13	3:07:03	9	17
sorter - limit 40	2:07:42	3:08:51	9	12
sorter - limit 45	2:09:07	3:11:12	8	10
sorter - limit 50	2:15:10	3:14:23	8	9
sorter - limit 55	2:16:33	3:15:11	8	9
sorter - limit 60	2:16:49	3:15:20	8	9
sorter - limit 65	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 70	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 75	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 80	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 85	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 90	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 95	2:19:02	3:16:36	8	9
sorter - limit 100	2:19:02	3:16:36	8	9

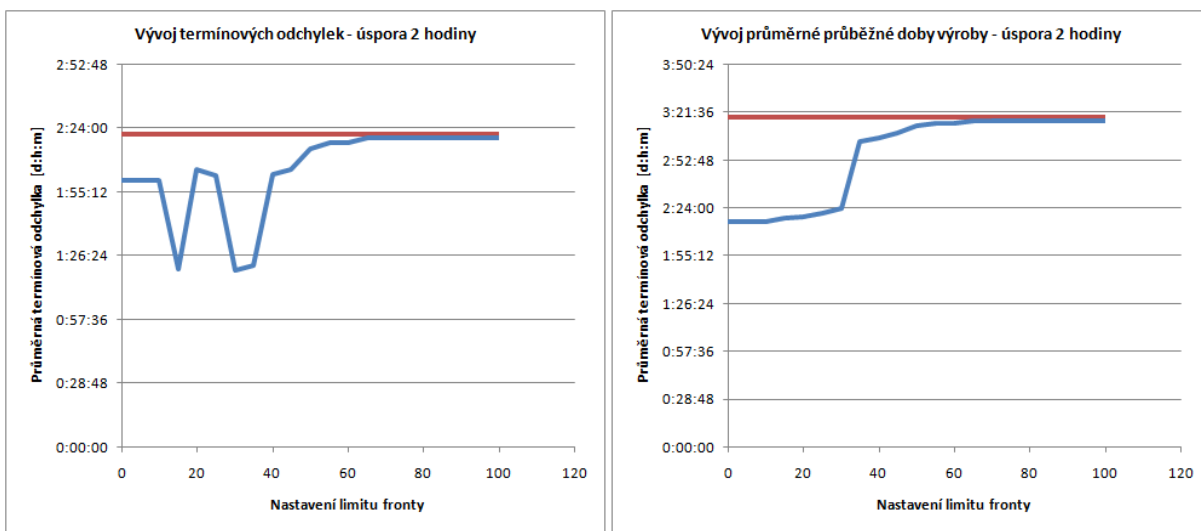
Tab. C-4 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení hodnoty časové úspory = 1,5 hodiny



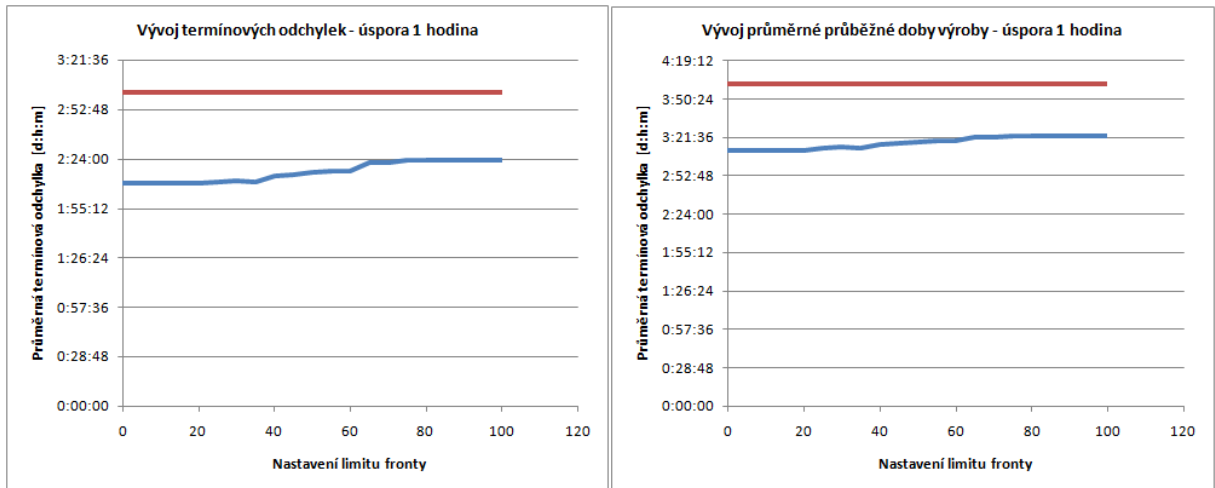
Graf C-4 Výsledky simulace při hodnotě časové úspory = 1,5 hodiny

úspora: 2 hodiny				
nastavení fronty	termínová odchylka	prům. průběžná doba	včas dokončené A	včas dokončené B
buffer	2:21:10	3:18:48	7	10
sorter - limit 0	2:00:21	2:15:36	9	20
sorter - limit 5	2:00:21	2:15:36	9	20
sorter - limit 10	2:00:21	2:15:36	9	20
sorter - limit 15	1:20:31	2:18:06	9	20
sorter - limit 20	2:05:15	2:18:30	8	20
sorter - limit 25	2:02:30	2:21:06	10	18
sorter - limit 30	1:19:52	2:23:30	9	15
sorter - limit 35	1:21:51	3:04:12	8	14
sorter - limit 40	2:03:07	3:06:18	8	14
sorter - limit 45	2:05:36	3:09:18	7	11
sorter - limit 50	2:14:30	3:13:36	7	8
sorter - limit 55	2:17:13	3:15:18	7	8
sorter - limit 60	2:17:32	3:15:30	7	8
sorter - limit 65	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 70	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 75	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 80	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 85	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 90	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 95	2:19:37	3:16:48	7	8
sorter - limit 100	2:19:37	3:16:48	7	8

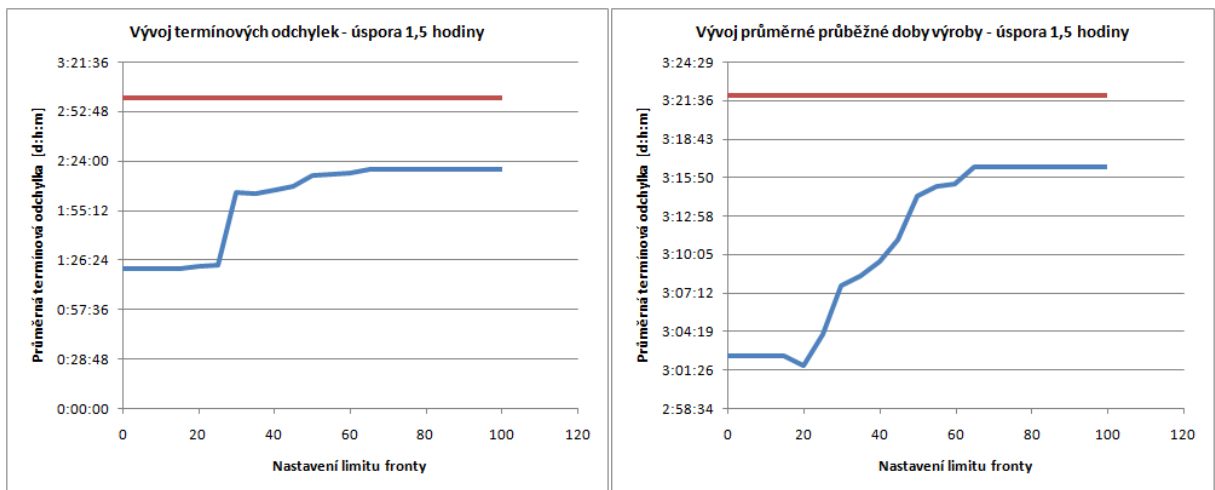
Tab. C-5 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení hodnoty časové úspory = 2 hodiny



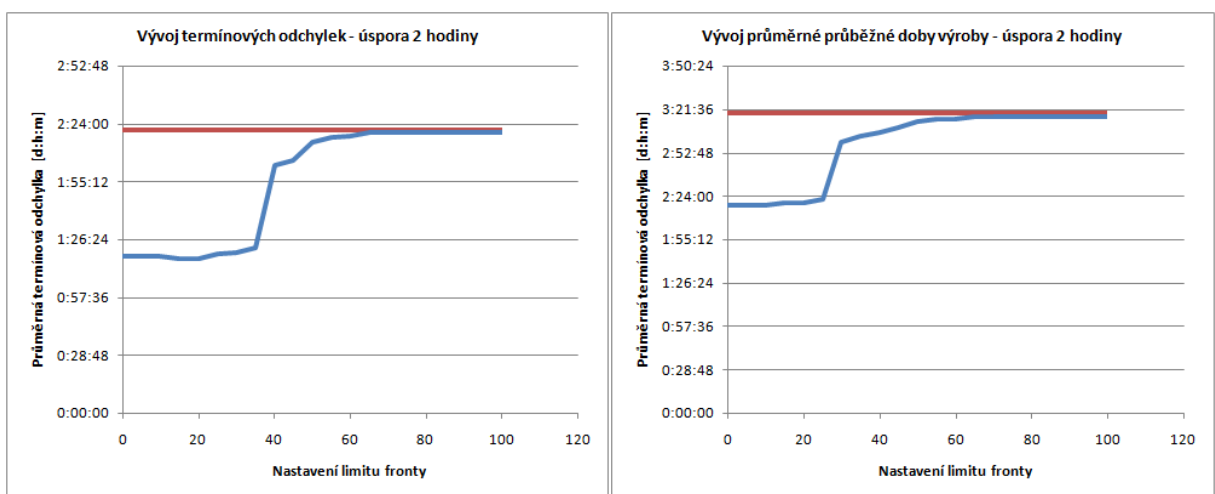
Graf C-5 Výsledky simulace při hodnotě časové úspory = 2 hodiny



Graf C-6 Výsledky upraveného simulačního modelu při hodnotě časové úspory = 1 hodina



Graf C-7 Výsledky upraveného simulačního modelu při hodnotě časové úspory = 1,5 hodiny

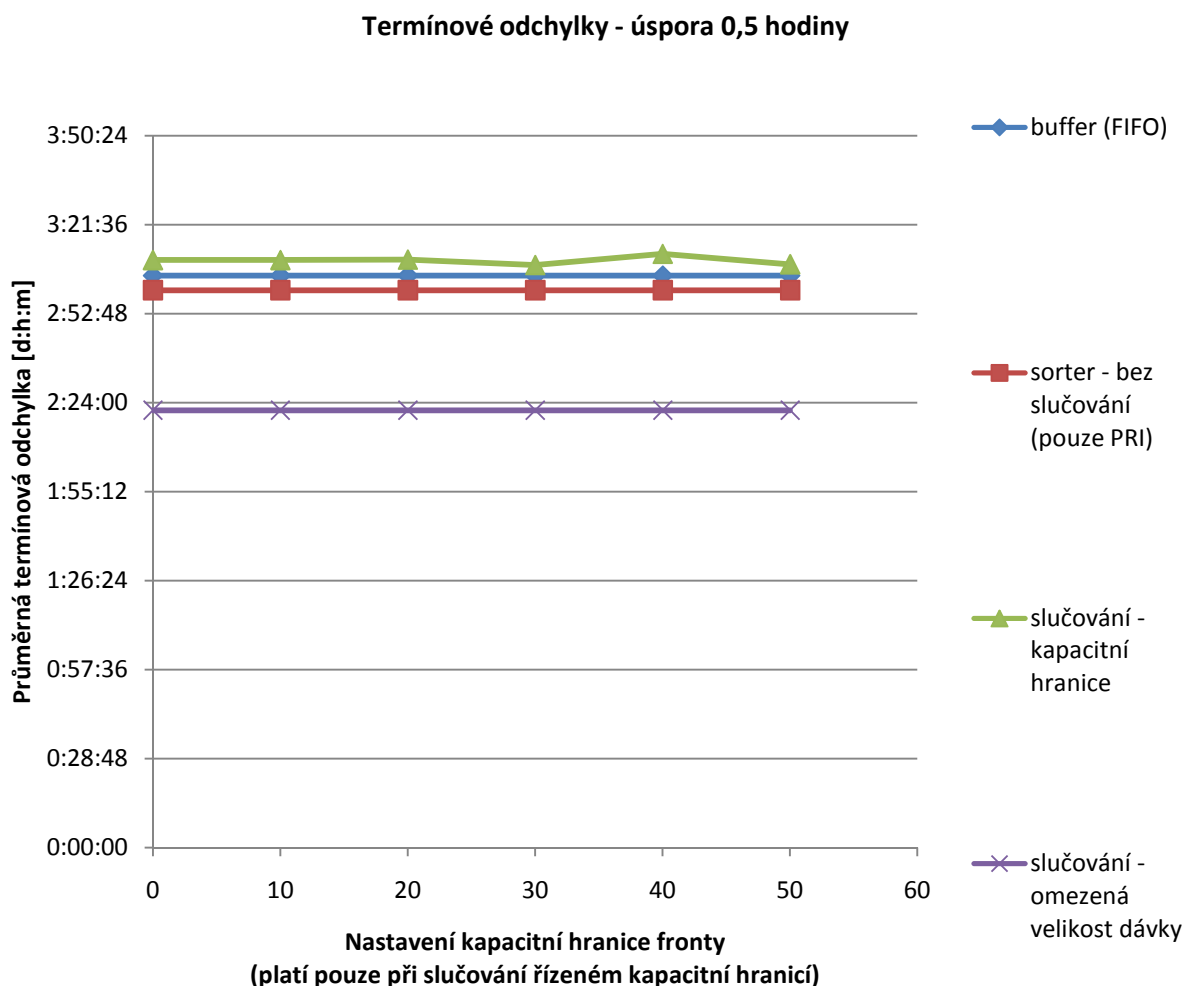


Graf C-8 Výsledky upraveného simulačního modelu při hodnotě časové úspory = 2 hodiny

Příloha D – výsledky simulace pro upravený model s omezeným slučováním technologicky podobných zakázek

úspora: 0,5 hodiny									
nastavení fronty	terminová odchylnka +	terminová odchylnka -	celková terminová odchylnka	průměrná průběžná doba výroby	včas dokončené A	včas dokončené B	včas dokončené C	včas dokončené D	včas dokončené celkem
buffer (FIFO)	1:13:49	1:15:15	3:05:05	4:15:57	7	10	5	4	26
sorter - bez slučování (pouze PRI)	1:11:15	1:13:08	3:00:23	4:15:21	9	6	6	5	26
sorter - limit 0	1:10:48	1:23:21	3:10:10	4:04:56	11	11	8	13	43
sorter - limit 10	1:10:48	1:23:21	3:10:10	4:04:56	11	11	8	13	43
sorter - limit 20	1:10:52	1:23:26	3:10:19	4:04:46	11	11	8	13	43
sorter - limit 30	1:13:24	1:19:10	3:08:34	4:05:38	12	10	8	9	39
sorter - limit 40	1:13:11	1:22:59	3:12:10	4:07:42	14	9	7	9	39
sorter - limit 50	1:13:02	1:19:46	3:08:48	4:07:08	10	11	9	8	38
sorter - omezené slučování ($t_{VD(max)}$)	1:08:26	1:13:07	2:21:33	4:08:26	10	13	6	6	35

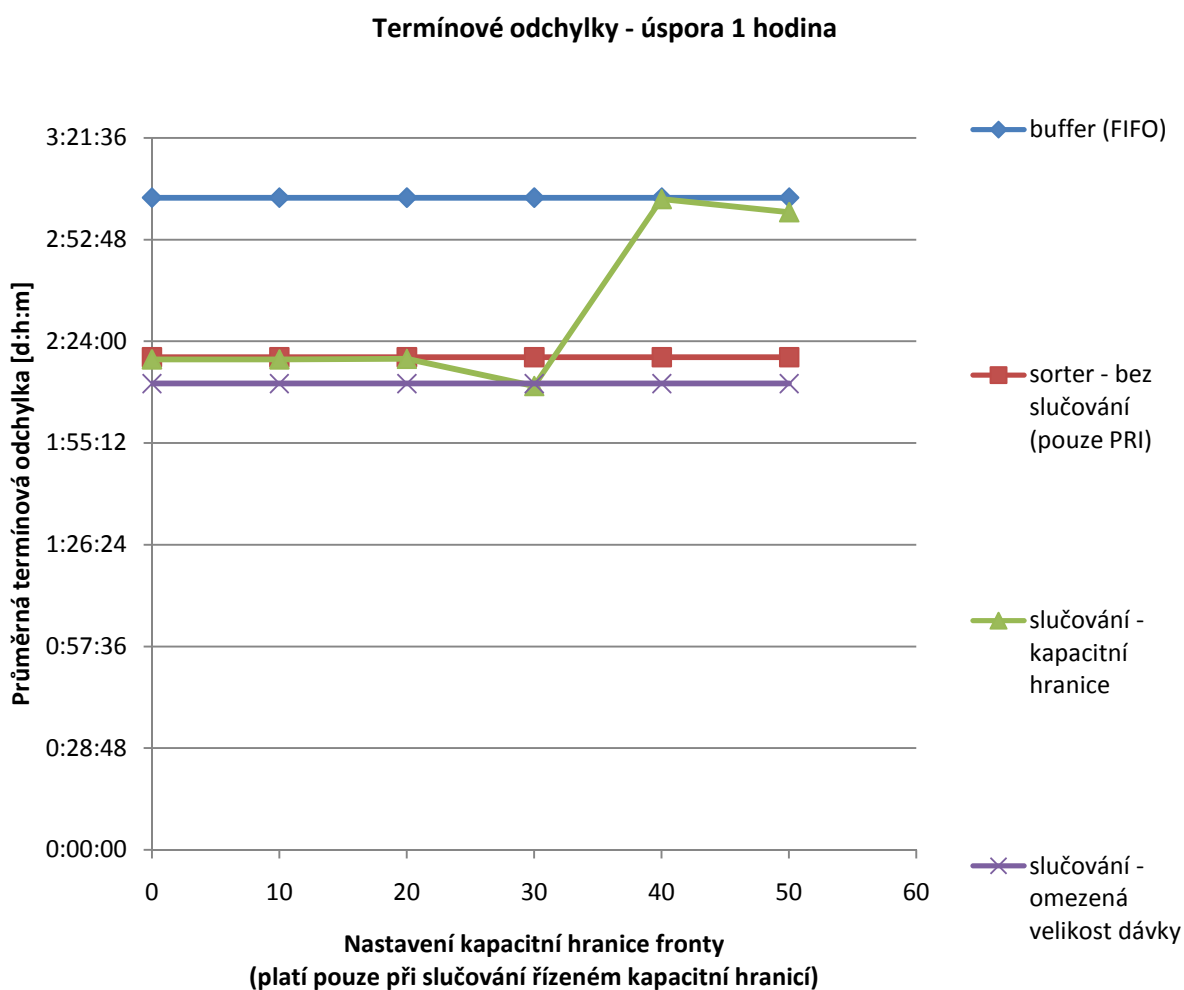
Tab. D-1 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení časové úspory = 0,5 hodiny (upravený model)



Graf D-1 Porovnání výsledků – úspora 0,5 hodiny

úspora: 1 hodina									
nastavení fronty	termínová odchylnka +	termínová odchylnka -	celková termínová odchylnka	průměrná průběžná doba výroby	včas dokončené A	včas dokončené B	včas dokončené C	včas dokončené D	včas dokončené celkem
buffer (FIFO)	1:13:52	1:14:48	3:04:40	4:15:38	7	10	5	4	26
sorter - bez slučování (pouze PRI)	1:12:03	1:07:26	2:19:30	4:11:15	9	6	6	5	26
sorter - limit 0	1:12:08	1:06:43	2:18:52	3:15:31	11	16	9	13	49
sorter - limit 10	1:12:08	1:06:43	2:18:52	3:15:31	11	16	9	13	49
sorter - limit 20	1:12:10	1:06:49	2:19:00	3:15:32	11	16	9	13	49
sorter - limit 30	1:10:53	1:00:25	2:11:19	3:18:17	10	15	8	10	43
sorter - limit 40	1:16:53	1:11:24	3:04:17	3:20:08	15	13	9	6	43
sorter - limit 50	1:15:42	1:08:53	3:00:35	3:21:26	12	13	9	7	41
sorter - omezené slučování ($t_{VD(max.)}$)	1:08:53	1:03:08	2:12:02	3:19:07	13	15	9	8	45

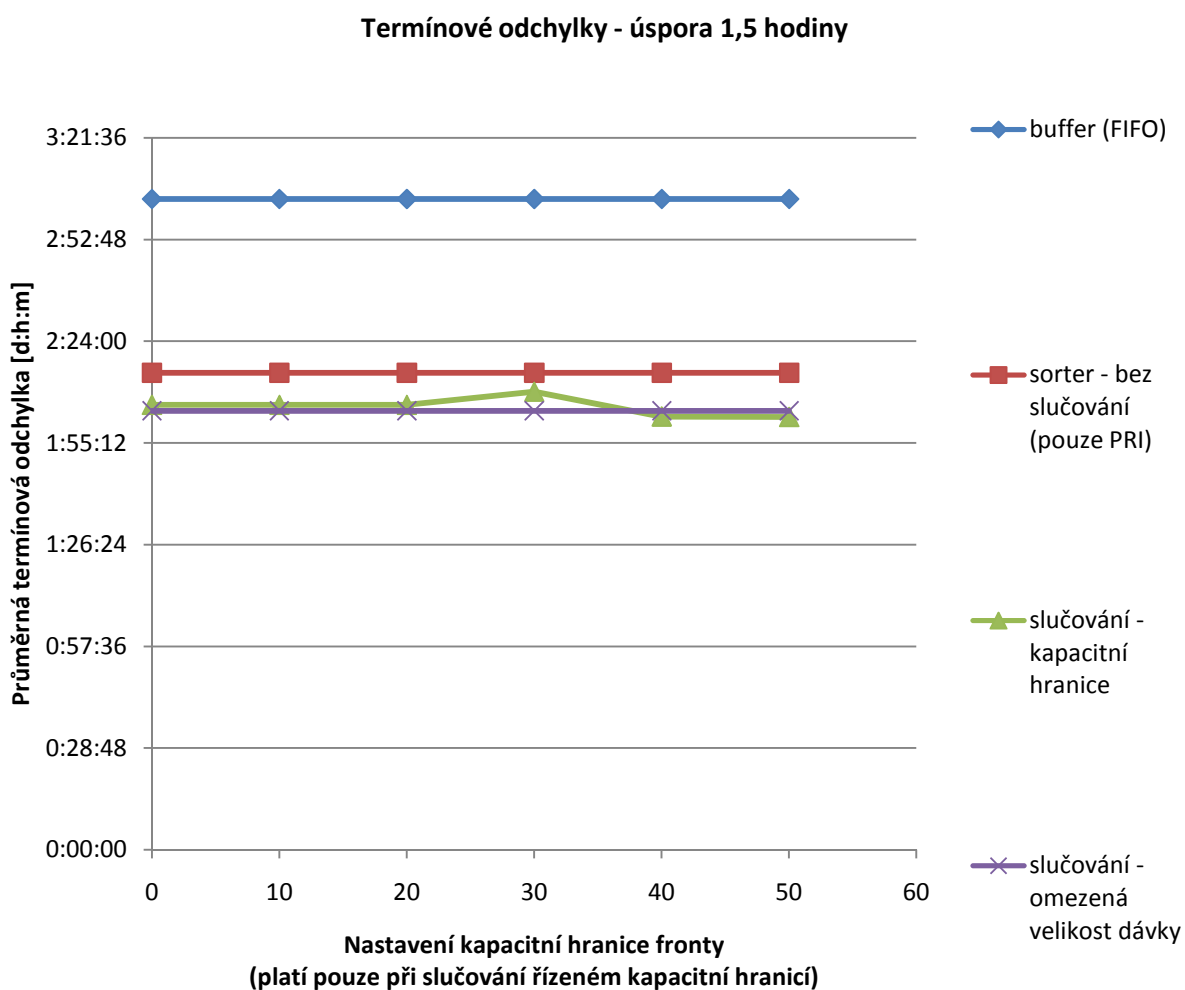
Tab. D-2 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení časové úspory = 1 hodina (upravený model)



Graf D-2 Porovnání výsledků – úspora 1 hodina

úspora: 1,5 hodiny									
nastavení fronty	termínová odchylnka +	termínová odchylnka -	celková termínová odchylnka	průměrná průběžná doba výroby	včas dokončené A	včas dokončené B	včas dokončené C	včas dokončené D	včas dokončené celkem
buffer (FIFO)	1:13:54	1:14:20	3:04:15	4:15:18	7	10	5	4	26
sorter - bez slučování (pouze PRI)	1:11:52	1:03:10	2:15:02	4:08:26	9	6	6	5	26
sorter - limit 0	1:13:03	0:16:53	2:05:56	3:08:55	10	16	10	14	50
sorter - limit 10	1:13:03	0:16:53	2:05:56	3:08:55	10	16	10	14	50
sorter - limit 20	1:13:04	0:16:53	2:05:57	3:08:54	10	16	10	14	50
sorter - limit 30	1:10:59	0:22:40	2:09:40	3:09:30	16	14	9	15	54
sorter - limit 40	1:10:51	0:15:48	2:02:40	3:11:47	11	15	9	12	47
sorter - limit 50	1:09:25	0:17:07	2:02:32	3:14:26	10	12	10	13	45
sorter - omezené slučování ($t_{VD(max.)}$)	1:13:58	0:14:19	2:04:18	3:09:20	11	16	9	11	47

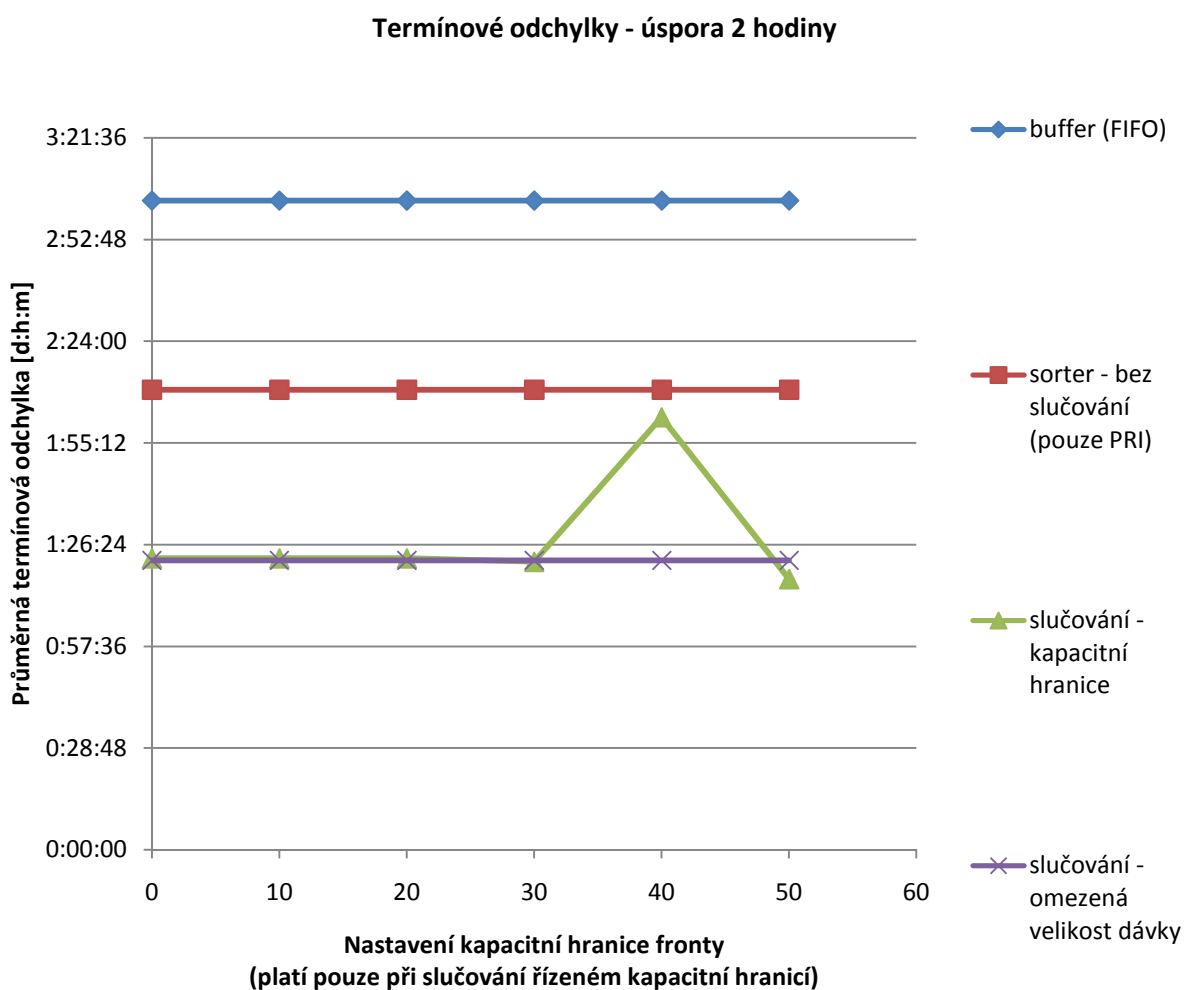
Tab. D-3 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení časové úspory = 1,5 hodiny (upravený model)



Graf D-3 Porovnání výsledků – úspora 1,5 hodiny

úspora: 2 hodiny									
nastavení fronty	termínová odchylnka +	termínová odchylnka -	celková termínová odchylnka	průměrná průběžná doba výroby	včas dokončené A	včas dokončené B	včas dokončené C	včas dokončené D	včas dokončené celkem
buffer (FIFO)	1:13:56	1:13:53	3:03:50	4:14:59	7	10	5	4	26
sorter - bez slučování (pouze PRI)	1:12:19	0:21:56	2:10:16	4:04:45	9	6	6	5	26
sorter - limit 0	1:10:13	0:12:18	1:22:32	3:00:14	19	18	11	17	65
sorter - limit 10	1:10:13	0:12:18	1:22:32	3:00:14	19	18	11	17	65
sorter - limit 20	1:10:13	0:12:18	1:22:32	3:00:14	19	18	11	17	65
sorter - limit 30	1:08:51	0:12:43	1:21:34	3:02:35	18	17	10	18	63
sorter - limit 40	1:11:18	0:15:10	2:02:29	3:06:50	15	15	11	13	54
sorter - limit 50	1:03:42	0:12:57	1:16:39	3:10:14	14	19	12	11	56
sorter - omezené slučování ($t_{VD(max.)}$)	1:10:11	0:11:46	1:21:57	3:00:11	19	18	11	17	65

Tab. D-4 Hodnoty výstupních ukazatelů při nastavení časové úspory = 2 hodiny (upravený model)



Graf D-4 Porovnání výsledků – úspora 2 hodiny

Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje disertační práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum:

Podpis:

Uživatel stvrzuje svým podpisem, že tuto disertační práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno	Fakulta/katedra	Datum	Podpis