

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU
FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

ŘÍZENÍ PRŮBĚHU ZAKÁZKY ORGANIZACÍ

MANUFACTURING ORDER MANAGEMENT IN COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. IVANA SIMEONOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF ŠUNKA, PhD.

BRNO 2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Simeonovová Ivana, Bc.

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

Řízení průběhu zakázky organizací

v anglickém jazyce:

Manufacturing Order Management in Company

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Teoretická východiska práce

Analýza problému a současné situace

Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

- DOLANSKÝ, V., MĚKOTA, V., NĚMEC, V.: Projektový management. Grada. Praha 1996, ISBN: 80-7169-287-5
- DOSTÁL P., RAIS K., SOJKA Z., Pokročilé metody manažerského rozhodování, Praha: Grada Publihing, 2005, ISBN 80-247-1338-1
- GOLDRATT, E., M. Kritický řetězec. Praha: Interquility, 1999. ISBN 80-902770-0-4.
- SVOZILOVÁ, A: Projektový management. Grada Publishing, 2006, ISBN : 80-247-1501-5
- SYNEK M. a kol., Manažerská ekonomika, Praha: Grada Publihing, 2007, ISBN 978-80-247-1992-4
- ŽŮRKOVÁ H., Plánování a kontrola, Praha: Grada Publihing, 2007, ISBN 978-80-247-1844-6

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Šunka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

L.S.

PhDr. Martina Rašticová, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Anna Putnová, Ph.D., MBA
Děkan fakulty

V Brně, dne
29.04.2011

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na řízení průběhu zakázky organizací. Obsahuje příklady výrobních systémů a jejich analýzu za účelem optimalizace. Při optimalizaci se sledují kritéria jako např. zvýšení propustnosti systému, vytíženost zdrojů a další. Výsledkem práce je návrh řešení vyplývající z výsledků optimalizace výrobního systému.

Klíčová slova

Plánování a rozvrhování výroby, diskrétní simulace výrobních systémů, KPI, výrobnost

Abstract

The diploma thesis focuses on the manufacturing order management in company. It contains examples of production systems and their analysis for optimization. During the optimization are monitored major criteria, for example: increase of production rate, resource utilization, and so on. The result of this work is a proposed solution arising from the outputs of optimization the manufacturing system.

Keywords

Planning, Scheduling, Discrete Simulation of Manufacturing Systems, KPI, Production Rates

Bibliografická citace

SIMEONOVÁ, I. *Řízení průběhu zakázky organizací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2011. 90 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Šunka, Ph.D.

Čestné Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 3. dubna 2011

.....
Bc. Ivana Simeonovová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Šunkovi, PhD. za jeho odbornou pomoc a vedení při tvorbě této práce. Děkuji tímto i svým rodičům za podporu při studiu.

Obsah

Obsah	6
Úvod	8
1 Cíle práce, metody a postupy zpracování	9
1.1 Cíle práce.....	9
1.2 Metody a postupy zpracování.....	9
2 Teoretická východiska použita v diplomové práci.....	11
2.1 Úvod do problematiky plánování a rozvrhování výroby.....	11
2.2 Modely výrobních systémů	15
2.3 Výkonnostní hodnocení výroby	19
2.4 Vývoj plánovacích systémů.....	24
2.4.1 MRP I.....	24
2.4.2 MRP II	25
2.4.3 ERP	27
2.5 APS (Advanced Planning and Scheduling).....	29
2.5.1 Definice.....	29
2.5.2 Popis.....	29
2.5.3 Princip.....	30
2.5.4 Hlavní druhy APS systémů	30
2.6 Přehled APS na trhu	33
2.6.1 APS produkty na českém trhu.....	33
2.6.2 Popis vybraných systémů.....	36
2.7 Digitální továrna.....	39
2.7.1 Co je digitální továrna?	39
2.7.2 Cíle digitální továrny	39
2.7.3 Problémy řešené pomocí digitalizace továrny	39
2.7.4 Přínosy digitální továrny.....	40
2.7.5 Systémy digitální továrny (dále jen systémy DF).....	41
2.7.6 Uživatelé systému DF	41
3 Analýza problémů a návrhy řešení.....	43
3.1 Řízení průběhu výrobních příkazů ve společnosti M a.s. (Simulační model).....	43
3.1.1 Úvod.....	43
3.1.2 Popis výrobního systému	43
3.1.3 Popis simulačního modelu	46
3.1.4 Verifikace a validace simulačního modelu	52

3.1.5	Analýza počátečního stavu a výsledky základního simulačního modelu (základní alternativa – počáteční stav).....	53
3.1.6	Návrh řešení na odstranění úzkých míst výroby bez navyšování investičních nákladů a zhodnocení alternativ	57
3.1.7	Návrh řešení na odstranění úzkých míst výroby s navyšováním investičních nákladů (M_5) a zhodnocení alternativ	64
3.2	Řízení průběhu výrobních příkazů ve společnosti B - slévárna, a.s. (Simulační model) ...	67
3.2.1	Úvod do problematiky	67
3.2.2	Popis abstraktního modelu.....	67
3.2.3	Algoritmus pro popis výroby odlitku.....	69
3.2.4	Popis simulačního modelu	70
3.2.5	Analýza výstupů ze simulačního modelu.....	74
3.2.6	Simulační experiment vlivu poruchovosti strojů	79
4	Závěr	83
	Seznam použitých zdrojů.....	85
	Seznam zkratk.....	87
	Seznam obrázků.....	88
	Seznam tabulek.....	90

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá řízením průběhu zakázky organizací. Toto téma je podrobně zpracováno na simulačních modelech výrobních systémů.

Plánování a rozvrhování se řadí mezi rozhodovací procesy, které jsou běžně v mnoha průmyslových výrobach a v terciální sféře. Tyto formy rozhodování hrají důležitou roli v zásobování a výrobě, přepravě a distribuci a v informačních procesech a komunikaci. Funkce plánování a rozvrhování v podniku spočívají v matematických technikách a heuristických metodách sloužících k alokaci omezených zdrojů činnostmi, které se mají zajistit. Tato alokace zdrojů musí být realizována takovým způsobem, aby podnik optimalizoval své cíle a dosáhl jich. Zdrojem mohou být stroje v továrně, ranveje na letišti, pracovní čety na staveništích nebo procesory (počítače) ve výpočetním prostředí. Činnosti mohou být operace na staveništích, vzlety a přistání na letištích, fáze stavebního projektu nebo počítačový program, jež má být proveden. Každá aktivita může mít svou prioritu, nejbližší možný čas počátku a termín dokončení. Cíle mohou mít více rozdílných forem, jako například minimalizace času, který je potřeba k dokončení všech činností, minimalizace počtu činností, které jsou dokončeny až po závazném termínu dokončení atd.

V dnešní době turbulentního konkurenčního prostředí je pro každý výrobní podnik důležité, aby se dokázal na trhu prosadit a zvýšit rentabilitu. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout, je zvýšení výrobnosti pomocí plánování a rozvrhování. Diplomová práce se zabývá touto tematikou. První kapitola obsahuje cíle, postupy a metody zpracování diplomové práce. Druhá kapitola objasňuje teoretická východiska práce, která jsou nezbytná pro pochopení problematiky. Třetí část práce je zaměřena prakticky na dva výrobní systémy, u nichž se aplikuje tato problematika. Závěrem jsou zhodnocena navrhovaná řešení.

1 Cíle práce, metody a postupy zpracování

Tato kapitola definuje cíle práce, kterých má být dosaženo. Dále jsou zde uvedeny metody a postupy použité pro řešení problematiky.

1.1 Cíle práce

Diplomová práce si klade za cíl zvýšení výrobnosti (Production Rate) podniku, jelikož je toto zvýšení pro podnik efektivní vzhledem k jeho celkové rentabilitě. Proto se u řešeného problému porovnávají i investiční náklady. Od tohoto cíle je odvozeno i snížení průběžné doby na zpracování všech výrobních příkazů (Makespan) a snížení délek front u zdrojů (Queue Length).

Klíčovými hodnotícími parametry jsou:

- výrobnost,
- vytížení zdrojů,
- délka front u zdrojů.

Tato optimalizace průběhu zakázky výrobním systémem je dalším stěžejním cílem této práce.

Pro splnění výše uvedených cílů je nezbytné vytvořit simulační model výrobního systému, a to za použití adekvátních analytických nástrojů. V případě této diplomové práce jsou použity APS (Advanced Planning and Scheduling) systémy patřící do kategorie FCP (Finite Capacity Planning).

1.2 Metody a postupy zpracování

Diplomová práce sleduje průběh zakázek výrobním systémem. Pod pojmem zakázka se zde rozumí především výrobní příkaz, nikoliv obchodní zakázka. Důvodem je skutečnost, že ve výrobních podnicích se obchodní zakázky běžně sdružují, aby se vytvořil výrobní příkaz na větší množství požadovaného výrobku. Jsou ovšem i případy, kdy jsou obchodní zakázka a výrobní příkaz totožné.

Analýza průběhu zakázky výrobním systémem je pak použita pro optimalizaci výroby, a to za použití různých optimalizačních kritérií, jako je zvýšení propustnosti výrobního systému, vytěžování zdrojů se zaměřením na úzká místa výroby. Metodika práce zahrnuje následující kroky:

- vypracování simulačního modelu výrobního systému,

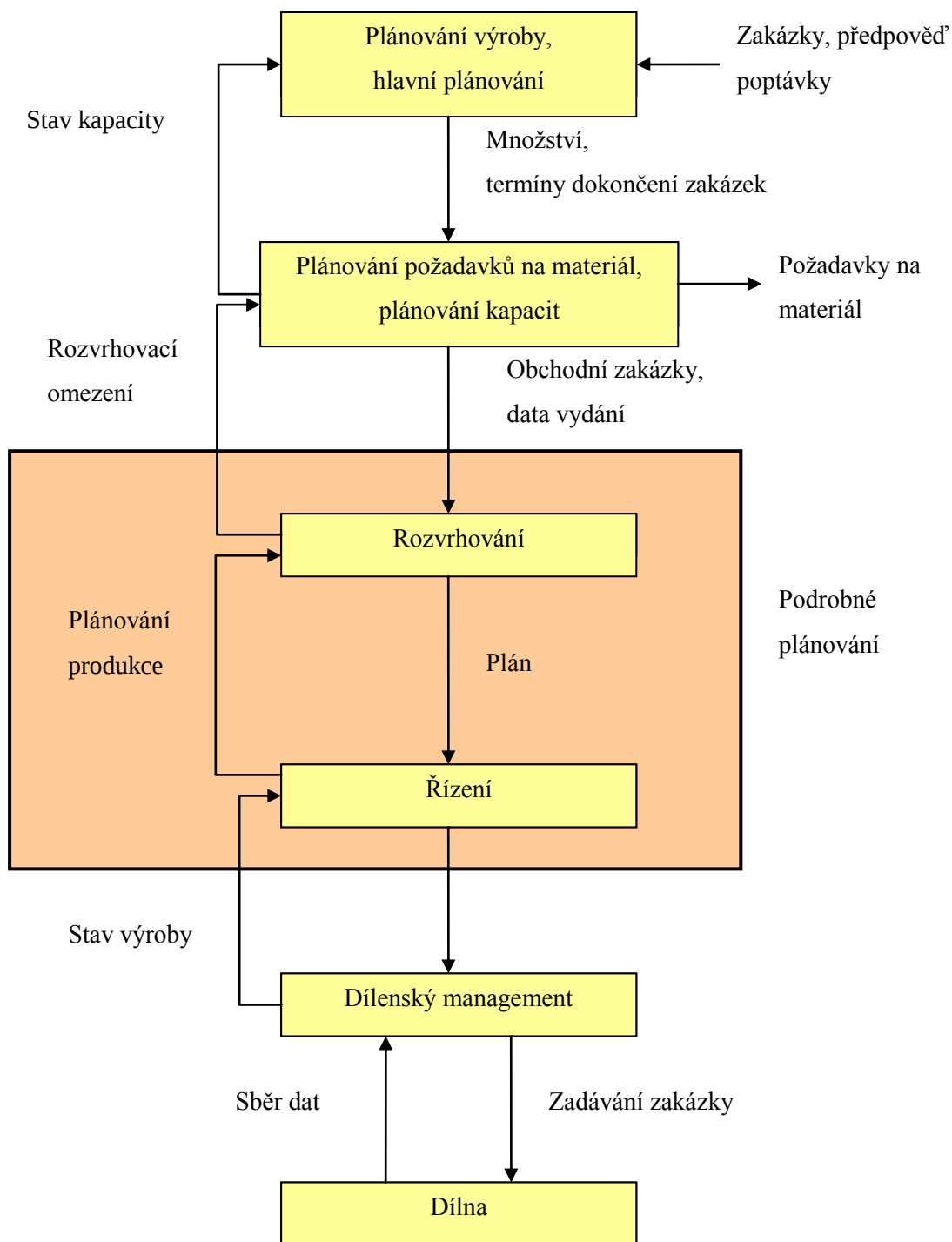
- plánování (rozvržení) výroby – simulace různých alternativ,
- analýza úzkých míst výroby podle procentuálního využití – vzhledem k tomu, že se jedná o statistiku, a vzhledem k tomu, že počet výrobních příkazů může být omezený, tento výstup může být zavádějící. Zdroj ukončí zpracování dávek (během zpracování byl využit i na 100%), ale další zdroje pokračují ve zpracování dávek. Pro výpočet využití se ovšem bere celkový čas v pracovní době do ukončení simulace, i když zdroj již nepracuje. Lepší je zohlednit využití v menších časových intervalech, např. den,
- analýza front vznikajících ve výrobě při dopředném, tlačném plánování,
- analýza ganttových diagramů různých alternativ a posuzování další kapacitních omezení,
- návrh, ověření a hodnocení různých alternativ,
- zpracování doporučení pro manažery výroby.

2 Teoretická východiska použitá v diplomové práci

Druhá kapitola se zabývá teoretickými východisky práce. Ta jsou nezbytná pro správné pochopení problematiky a upřesnění některé terminologie týkající se plánování a rozvrhování výroby.

2.1 Úvod do problematiky plánování a rozvrhování výroby

Následující podkapitola je zaměřena na popis obecného výrobního prostředí a roli jeho plánovacích a rozvrhovacích funkcí. Zakázky, které vstupují do výroby, musí být transformovány na činnosti s přidělenými termíny dokončení. Tyto činnosti musí být zpracovány na strojích v předem dané posloupnosti či pořadí. Zpracování činností může být někdy pozdrženo, pokud jsou určité stroje zaneprázdněny. Nucená přerušení (přednostní vyřízení) mohou nastat, jestliže jsou uvolněny činnosti s vysokou prioritou, takže budou zpracovány jako první. Neočekávané události v dílně, jako například poruchy strojů nebo delší procesní čas, než jaký byl očekáván, musí být také zavedeny do plánu, a to předtím, než začnou mít zásadní vliv na výrobu. Generování detailního rozvrhu úloh (činností), které mají být provedeny, ve výrobním podniku pomáhá udržovat efektivnost výroby a řízení operací. Proces rozvrhování a proces plánování se vzájemně ovlivňují. Proces plánování ovládá středně a dlouhodobé plánování pro celou organizaci. Tento proces je schopen optimalizovat celkový produktový mix firmy a alokaci dlouhodobých zdrojů, založenou na úrovni zásob na skladě, předpovědi poptávky a požadavcích kladených na zdroje. Rozhodnutí vytvořená na této úrovni vyššího plánování mohou mít přímý dopad na detailnější rozvrhování procesů.



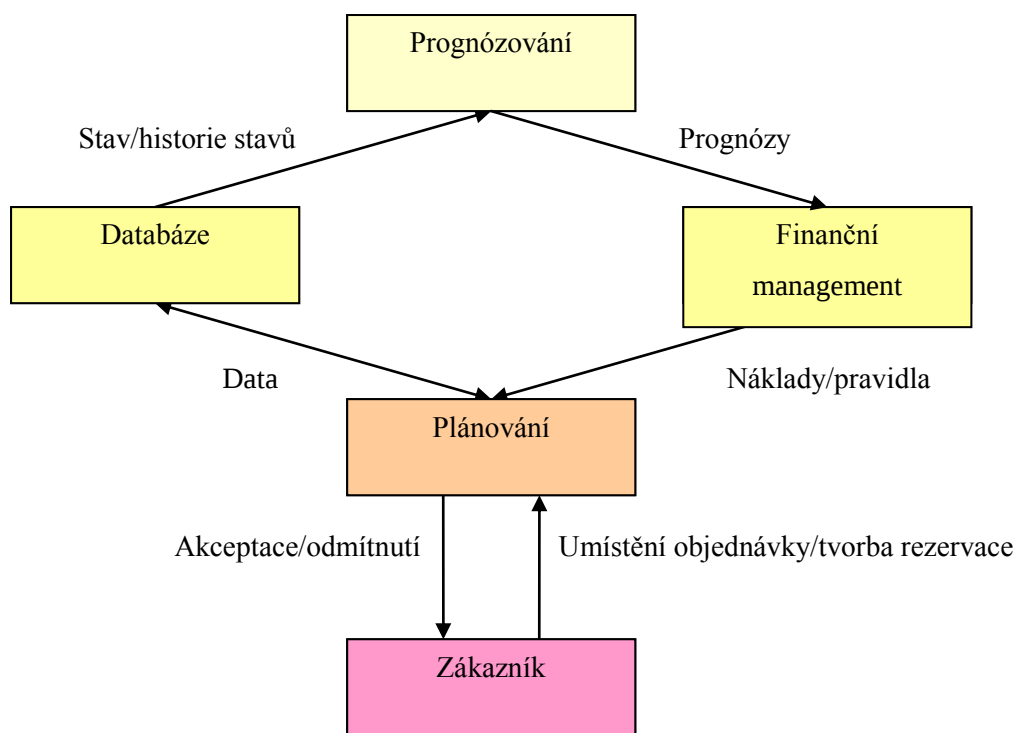
Obr.1: Diagram informačního toku ve výrobním systému.(1)

Ve výrobě musí plánování a rozvrhování komunikovat s ostatními rozhodovacími funkcemi v továrně. Jeden ze systémů, který je hojně využíván, je MRP systém (MRP I – Material Requirement Planning, MRPII – Manufacturing Resource Planning).

Po tom, co byl sestaven hlavní výrobní plán, je nutné, aby všechny materiály a zdroje byly dostupné v určených časech. Data vyhotovení činností musí být určeny systémem pro výrobní plánování a rozvrhování společně s MRP systémem. Každý výrobek v MRP systému má BOM (Bill of Materials - kusovník) rozepisující položky potřebné pro výrobu. MRP systém sleduje zásoby každé položky. Kromě toho stanovuje časy nákupu jednotlivých položek materiálu. Existuje mnoho dostupných komerčních MRP softwarových balíčků. V důsledku toho se mnoho výrobních podniků opírá o MRP systémy, které používá pro účely plánování výroby. Avšak pro MRP systém není jednoduché udělat detailní plánování a rozvrhování uspokojivě.

Moderní továrny často využívají propracovaný systém pro zpracování informací obsahující počítačovou síť a různé databáze. LAN (Local Area Network) osobních počítačů, počítačová pracoviště a vstupní terminály (terminály pro vstupy dat) jsou připojeny k centrálnímu serveru a mohou být také použity pro získání (znovuzískání) dat z různých databází nebo pro vstup nových dat. Plánování a rozvrhování je obvykle zpracováváno na jednom z těchto osobních počítačů nebo počítačové stanici, pracovišti. Terminály na klíčových pozicích mohou být často připojeny k rozvrhovacímu počítači, aby poskytly oddělením přístup k současným rozvrhovacím informacím. Tato oddělení mohou postupně poskytnout rozvrhovací systém s důležitými informacemi, jako jsou změny ve stavu událostí, stavy strojů nebo úroveň zásob na skladě.

Dnešní podniky se často spoléhají na propracované ERP (Enterprise Resource Planning) systémy, které řídí a koordinují informace ve všech podnikových divizích a někdy také informace o svých dodavatelích a zákaznících. Systémy pro podporu rozhodování nejrůznějších typů mohou být spojeny s těmito ERP systémy, které umožňují společnosti rozsáhlé dlouhodobé plánování, střednědobé plánování a také krátkodobé plánování. (1)



Obr.2: Diagram informačního toku v systému CRM (1)

2.2 Modely výrobních systémů

Výrobní systémy mohou být charakterizovány rozmanitými faktory: počtem zdrojů (strojů, operátorů, apod.), jejich charakteristikami a konfigurací, úrovni automatizace, typem systému pro manipulaci s materiálem atd. Rozdíly v těchto charakteristikách daly vzniknout množství různých plánovacích a rozvrhovacích modelů. Ve výrobních modelech je zdroj obvykle označován jako „stroj“, úloha, která má být na stroji provedena, je typicky označována jako „práce“. Ve výrobních procesech může práci představovat jedna operace nebo kolekce operací, které mají být vykonány na různých strojích. Před popisem hlavních charakteristik plánovacích a rozvrhovacích problémů je zmíněn stručný přehled 5 tříd výrobních modelů.

První třídou modelů jsou projektové plánovací a rozvrhovací modely. Plánování a rozvrhování projektů je důležité vždy, když mají být uskutečněny rozsáhlé projekty, které se skládají z mnoha etap. Projekty, jako například konstrukce letadlové lodi nebo mrakodrapu, se typicky skládají z množství aktivit a prací, které podléhají prioritním omezením. Práce, které podléhají prioritním omezením nemohou být započaty předtím, než budou ostatní práce spolehlivě dokončeny. V projektovém plánování (rozvrhování) se často předpokládá neomezený počet strojů či zdrojů, takže práce může začít, až jsou všichni tito předchůdci dokončeni. Cílem je minimalizovat čas dokončení poslední práce, častěji označovaný jako hodnota spočtená plánovačem.

Také je důležité najít soubor prací, které určuje hodnota spočtená plánovačem. Dále to, jak jsou tyto práce kritické a nemohou být zpožděny, aniž by nebylo zpožděno dokončení celého projektu. Modely pro projektové plánování jsou také důležité pro plánování a rozvrhování služeb, například plánování a rozvrhování rozsáhlých konzultačních projektů.

Druhá třída modelů obsahuje jednotlivé stroje, souběžné stroje a dílenské modely. V případě prostředí s jednotlivými či paralelními stroji se práce skládá z jedné operace, která může být provedena na kterémkoli dostupném stroji. V plnohodnotné dílně se práce typicky skládají z množství operací, které mají být provedeny na různých strojích. Každá práce má svou vlastní trasu, která musí procházet celým systémem. Operace prací v dílně musí být naplánovány tak, aby minimalizovaly jeden nebo více cílů, jako třeba hodnotu spočtenou plánovačem nebo počet zpožděných prací. Dílny převládají v průmyslových odvětvích, které vyrábějí průmyslové zboží přizpůsobené zákazníkovi. Nicméně se také objevují v odvětví služeb (např. nemocnice). Speciálním případem dílen je nastavení, kde každá z prací

následuje stejnou trasu skrz systémem (tzn., každá práce musí být zpracována na Stroji 1, poté na Stroji 2, atd.). Takové prostředí (nastavení) je obvykle nazýváno průtoková dílna.

Třetí třída modelů je zaměřena na výrobní systémy s automatizovanou manipulací s materiálem. V tomto nastavení se také práce skládá z množství operací. Manipulace s materiálem nebo dopravní systém (přepravník) kontroluje pohyb prací a také čas jejich zpracování na různých strojích. Příkladem takových prostředí jsou flexibilní výrobní systémy, flexibilní montážní systémy a montážní linky. Cílem je typicky maximalizovat propustnost. Taková nastavení (prostředí) převládají v automobilovém průmyslu a ve spotřebitelském elektronickém průmyslu.

Čtvrtá třída modelů je známá jako modely dlouhodobého plánování. Tyto modely se používají pro střednědobé a dlouhodobé výrobní plánování. Na rozdíl od prvních tří tříd, výrobní a požadavkové procesy stále probíhají. V této třídě existují různé produkty. Když stroj mění jeden produkt za jiný, vzniká změna nákladů. Tyto modely jsou důležité ve výrobním průmyslu, jako například v olejových rafineriích a papírnách.

Pátá třída modelů se skládá z modelů pro plánování a rozvrhování dodavatelského řetězce. Tyto modely vykazují tendence hierarchické struktury a jsou často založeny na integraci modelů dlouhodobého plánování (čtvrtá třída modelů) a modelů pro dílenské rozvrhování (druhá třída modelů). Cílové funkce v plánování a rozvrhování dodavatelského řetězce berou v úvahu hospodářské náklady na zásoby v různých fázích v řetězci, jakož i náklady na dopravu mezi etapami. Jsou zde omezení a zábrany na množství produkce a stejně tak na množství, které má být přepravováno z jedné etapy do druhé. Výrobní modely popsané dříve mohou být klasifikovány buď jako diskrétní, nebo spojité.

Modely plánování a rozvrhování projektu, dílenské modely a flexibilní montážní systémy jsou diskrétní modely. Modely dlouhodobého plánování jsou spojité. Modely pro plánování a rozvrhování dodavatelského řetězce mohou být spojité nebo diskrétní. Diskrétní model bývá obvykle formulován jako celočíselný program nebo nespojitý program, zatímco spojitý model může být formulován jako lineární nebo nelineární program. Existují podobnosti, stejně jako rozdíly mezi modely, které byly nyní popsány a modely služeb v následující části. Jedna třída modelů, a sice modelů pro plánování projektu, je důležitá pro výrobu i pro služby.

Důležitou charakteristikou plánovacího modelu je konfigurace strojů. Existuje několik podstatných konfigurací strojů. Níže jsou uvedeny informace o nejzákladnějších z nich.

- **Modely s jedním strojem**

Mnoho výrobních systémů lze namodelovat jako modely s jedním strojem (jednostrojové modely). Například, jestliže je v multi-strojovém prostředí jedno úzké místo, pak sekvence dávek v úzkém místě obvykle určuje výkon celého systému. V takovém případě má smysl plánovat úzké místo první a všechny další operace (předcházející a navazující) potom. To znamená, že původní problém nejprve musí být zredukován na problém modelu s jedním strojem. Jednostrojové modely jsou také důležité v dekompozičních metodách, kde se problémy v plánování v prostředí se složitějšími stroji člení na několik menších problémů jednostrojového plánování.

Jednostrojové modely byly analyzovány v rámci všech druhů podmínek a s mnoha různými cílovými funkcemi. Výsledkem je sbírka pravidel, která pokud je identifikovaná a používána, často poskytuje optimální řešení v jednostrojovém prostředí. Například u pravidla Earliest Due Date (EDD - nejkratší termín dokončení zakázky), které řídí dávky podle rostoucího pořadí termínu dokončení zakázky, bylo prokázáno, že se minimalizovala maximální zpoždění mezi všemi dávkami. U pravidla Shortest Processing Time first (SPT, nejkratší procesní čas, první dávka), bylo prokázáno, že se minimalizoval průměrný počet dávek čekajících na zpracování.

- **Modely paralelních strojů.**

Skupina paralelních strojů je zevšeobecněním jednostrojového modelu. Mnoho výrobních prostředí se skládá z několika skupin pracovních stanic (workcenters), každé s určitým počtem paralelních strojů. Stroje ve skupině mohou být totožné, takže práce mohou být zpracovány na kterémkoli ze strojů, jež je k dispozici. Paralelní strojové modely jsou důležité ze stejného důvodu jako jednostrojové modely:

Pokud je jedna konkrétní skupina úzkým místem, pak plánování na této skupině určí výkon celého systému. Toto úzké místo pak může být modelováno jako skupina paralelních strojů a analyzováno odděleně.

Někdy nemusí být paralelní stroje úplně totožné. Některé stroje mohou být starší a tedy provozovat při nižší rychlosti, nebo mohou být některé stroje lépe udržovatelné a schopné vykonávat kvalitnější práci. Pokud je tomu tak, pak některé práce mohou být zpracovány na kterémkoli z m strojů, zatímco ostatní práce mohou být zpracovány pouze

na konkrétní podmnožině z m strojů. Když jsou zdrojem lidé, pak procesní čas operace může záviset na práci, jakož i na osobě nebo operátorovi. Jeden operátor může vyniknout v jednom typu práce, jiný operátor může být více zaměřen na jiný typ.

- **Flow shop modely (Modely průběžné výroby)**

V mnoha výrobních a montážních provozech musí výrobní dávka podstoupit několik operací na několika různých strojích. Pokud jsou trasy všech dávek totožné, tj. všechny dávky jsou zpracovávány na stejných strojích ve stejném pořadí, je prostředí označováno jako průběžná výroba (flow shop). Stroje jsou sériově uspořádány, když je dokončeno zpracování dávky na jednom stroji, připojí se do fronty na další stoj. Pořadí dávek ve frontách se může lišit od stroje ke stroji. Nicméně, jestliže existuje systém pro manipulaci s materiálem, který dopravuje práce z jednoho stroje na druhý, pak je stejná posloupnost dávek zachována v celém systému.

Zobecněním modelů průběžné výroby je takzvaný model flexibilní průběžné výroby (flexibilní flow shop), který se skládá z několika skupin strojů sériově zařazených s tím, že v každé skupině je několik paralelních strojů. V každé skupině mohou být dávky zpracovávány na kterémkoli ze strojů paralelně. V některých flexibilních průběžných výrobach mohou dávky obejít stroj (nebo skupinu), pokud to přímo nevyžaduje technologický postup, a může předběhnout dávky, které jsou na tomto stroji zpracovávány, nebo které čekají na zpracování.

- **Dílenské modely (Job Shop Models)**

V obecném výrobním prostředí mohou mít dávky různé technologické postupy, které určují materiálový tok ve výrobě. Jedná se o zobecnění modelu průběžné výroby, ve kterém dávky mívají stejný technologický postup. Nejjednodušší dílenské modely předpokládají, že výrobní dávka může být zpracována na konkrétním stroji maximálně jednou na své trase výrobním systémem. V jiných modelech může dávka navštívit daný stroj několikrát. Jedna se o výrobu z recirkulace, což výrazně zvyšuje složitost modelu.

Zobecněním dílenského modelu je flexibilní dílenský model s pracovními stanicemi, které mají více paralelních strojů ve skupině. Z kombinatorického hlediska je flexibilní dílenský model s recirkulací jedním z nejsložitějších. Takové výrobní systémy se velmi často vyskytují v polovodičovém průmyslu.

V reálném světě existuje mnoho výrob, které jsou složitější. Nicméně výše uvedené rozdělení výrob je tak zásadní, že jejich analýzy poskytují pohled, který je užitečný pro analýzu i složitějších výrobních systémů.(1)

2.3 Výkonnostní hodnocení výroby

Pro výrobní systémy jsou důležité různé typy cílů. Nejdůležitější ze základních cílů výrobního systému jsou:

Propustnost a celková doba zpracování (makespan)

V mnoha výroбах je maximalizace propustnosti velmi důležitá a manažeři jsou často hodnoceni podle toho, jak velká je propustnost výrobního systému. Propustnost výroby je často určena úzkoprofilovými stroji – tzv. úzká místa výroby. Maximalizace propustnosti výroby je často ekvivalentní maximalizaci propustnosti na úzkých místech. Toho lze dosáhnout několika způsoby. Za prvé, se musí plánovač snažit zajistit, aby úzkoprofilový stroj nikdy nebyl nečinný; to může vyžadovat, aby vždy existovaly nějaké práce čekající ve frontě na stroj. Za druhé, pokud existují na úzkoprofilovém stroji časy seřízení závislé na pořadí dávek s_{ijk} , pak plánovač musí určit pořadí prací tak, aby součet seřizovacích časů, nebo průměrný seřizovací čas byl minimalizován.

Celková doba zpracování (makespan) je důležitá, když existuje konečný počet prací. Celková doba zpracování je označována C_{max} a je definována jako čas, kdy poslední práce opouští systém, tj.

$$C_{max} = \max(C_1, \dots, C_n),$$

kde C_j je čas dokončení práce j . Celková doba zpracování je úzce spjata s propustností. Například minimalizace celkové doby zpracování v prostředí s paralelními stroji se seřizovacími časy závislými na pořadí nutí plánovače k rozložení dávky mezi různé stroje a k minimalizaci součtu všech seřizovacích časů. Heuristiky, které mají tendenci minimalizovat celkovou dobu zpracování ve strojovém prostředí s omezeným počtem prací,

mají rovněž tendenci maximalizovat propustnost, pokud je tok dávek konstantní v průběhu času.

Termíny dokončení zakázek.

Existuje několik důležitých cílů, které se vztahují k termínům dokončení zakázek. Za prvé, plánovač se často pokouší minimalizovat maximální *zpoždění*. Zpoždění zakázek je definována následovně: Necht' d_j naznačuje termín dokončení zakázky j . Pak zpoždění zakázky j je

$$L_j = C_j - d_j$$

(Viz obrázek 3.a). Maximální zpoždění je definována jako

$$L_{\max} = \max(L_1, \dots, L_n),$$

Dalším důležitým cílem je počet zpožděných zakázek. Tento cíl se nezaměřuje na to, jak moc je skutečně zakázka zpožděna, ale pouze na to, zda je či není zpožděna. Počet zpožděných zakázek je statistika, kterou lze se snadno vysledovat v databázi, takže manažeři jsou často hodnoceni dle procenta včasných dodávek. Avšak minimalizace počtu zpožděných zakázek může mít za následek plán, ve kterém mohou být některé zakázky velmi zpožděny, což je v praxi nepřijatelné. Zpoždění zakázky j je definováno jako

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0),$$

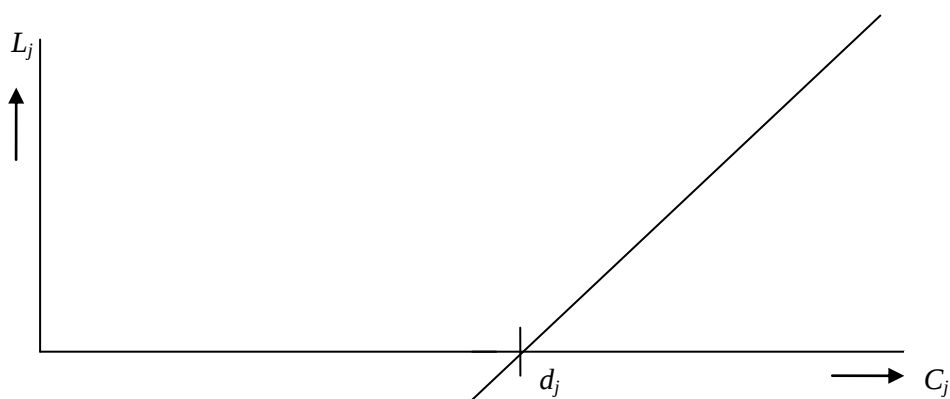
(Viz obr. 3.b) a účelová funkce je definována následovně

$$\sum_{j=1}^n T_j$$

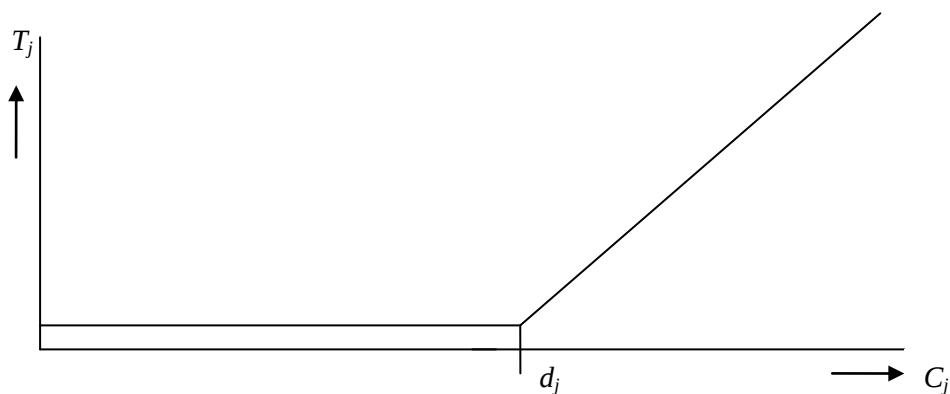
Předpokládejme, že různé zakázky mají různé prioritní váhy, kde w_j je prioritní váha zakázky j . Čím větší je prioritní váha zakázky, tím je zakázka důležitější. Zobecněním účelové funkce je celkové váhové zpoždění

$$\sum_{j=1}^n w_j T_j$$

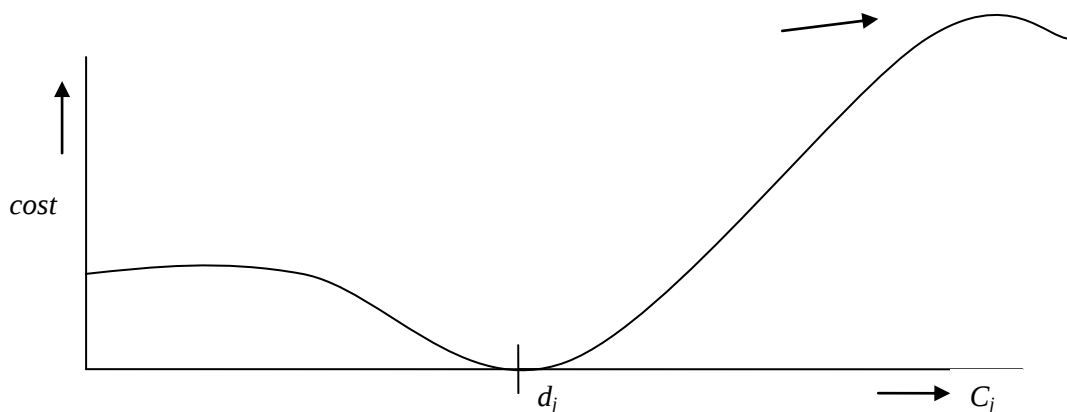
Žádný z cílů souvisejících s termíny dokončení zakázek uvedených výše nepenalizuje předčasné dokončení zakázky. Nicméně v praxi obvykle není výhodné dokončit zakázky dříve, protože to může vést k vyšším nákladům na skladování a dalším nákladům na dopravu. V praxi mohou nákladové funkce vypadat jako ta znázorněná na obrázku 3.c. (2)



Obr.3(a): Zpoždění L_j zakázky j (2)



Obr. 3(b): Zpoždění T_j zakázky j (2)



Obr. 3(c): Nákladová funkce v praxi (2)

Náklady na seřízení

Aby se maximalizovala propustnost výrobního systému, doba seřízení se musí minimalizovat. Nicméně existují situace se zanedbatelnou dobou seřízení s_{ijk} , ale s velkými náklady na seřízení c_{ijk}^s . Náklady na seřízení nejsou nutně úměrné s dobou seřízení. Například doba seřízení na stroji, který má nadbytečnou výkonnost (tzn. i množství prostojů), není významná, i když takové seřízení může způsobit například velké množství materiálového odpadu.

Náklady na rozpracovanou výrobu

Dalším důležitým cílem je minimalizace zásob rozpracované výroby (dále $WIP = \text{Work-In-Process}$). WIP váže kapitál a velké množství WIP může znemožnit technologický proces. WIP zvyšuje náklady na manipulaci a starší zásoby se mohou snadno poškodit nebo zastarat. Produkty často nejsou kontrolovány před tím, než dokončí svou cestu výrobním procesem. Pokud je vada, která je zjištěna během závěrečné inspekce, způsobena výrobní krokem na samém začátku procesu, pak všechny zásoby rozpracované výroby mohou být ovlivněny. Tuto skutečnost je velmi důležité zvážit, a to zejména v polovodičovém průmyslu, kde se výnos může pohybovat kdekoli mezi 60% a 95%. Pokud je zjištěna vada, příčina musí být určena okamžitě. To pak poukazuje na práci, která je zodpovědná za vadu a vypovídá o velikosti vadných zásob. Vzhledem k takovým událostem se vyplatí mít nízkou rozpracovanost. Tyto úvahy vedly výrobní společnosti v Japonsku ke konceptu Just-In-Time (JIT).

Výkonnostní parametr, který lze použít jako náhrada za WIP, je průměrná doba propustnosti. Doba propustnosti je doba, za kterou zakázka projde systémem. Minimalizace průměrné doby propustnosti, vzhledem k určité úrovni výstupu, minimalizuje WIP. Minimalizace průměrné doby propustnosti je také úzce spjata s minimalizací součtu časů dokončení, tj.

$$\sum_{j=1}^n C_j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j C_j$$

Náklady na skladování hotových výrobků

Důležitým cílem je minimalizovat náklady na skladování hotových výrobků. Náklady na držení jedné položky typu j v zásobě pro jednu časovou jednotku se označuje h_j . Výrobní frekvence dané položky a velikost dávky závisí jak na nákladech na dopravu zásob, tak i na době seřízení. V tomto případě frekvence zakázek, stejně jako neurčitost v poptávce, stanovuje minimální pohotovostní zásobu, která musí být uchována. Ale i v takovém případě je důležité minimalizovat náklady na skladování hotových výrobků.

Náklady na dopravu

V sítích, které se skládají z mnoha výrobních podniků, mohou náklady na dopravu představovat významnou část celkových výrobních nákladů. Existují různé druhy dopravy, např. nákladní, železniční, letecká a námořní, a každý režim má svou vlastní sadu vlastností s ohledem na rychlost, náklady a spolehlivost. V praxi se přepravní náklady na jednotku často zvyšují konkvávně podle transportovaného množství. Avšak zavedeme předpoklad, že náklady na dopravu jedné jednotky výrobku ze zařízení a na zařízení b jsou nezávislé na transportovaném množství a jsou označovány c_{ab}^m . Existuje mnoho dalších cílů, kromě výše uvedených. Například jakmile se Just-In-Time (JIT) koncepty více zakořenili ve výrobním průmyslu, jedním cílem se stala minimalizace součtu časů předstihů ve výrobě (earlinesses). V JIT systému by zakázka měla být dokončena těsně před svým závazným termínem dokončení tak, aby se zabránilo dalším zásobám a nákladům na přepravu. Dalším cílem pro plánovače je vytvořit plán, který je tak robustní, jak je to jen možné. Pokud je plán robustní, pak potřebné změny, které musí být provedeny v případě přerušení (např. porucha stroje,

spěšná zakázka), mají sklon být minimální. Nicméně, koncept robustního plánu nebyl ještě dobře definován, a proto také není jasné, jak se optimalizuje. (3)

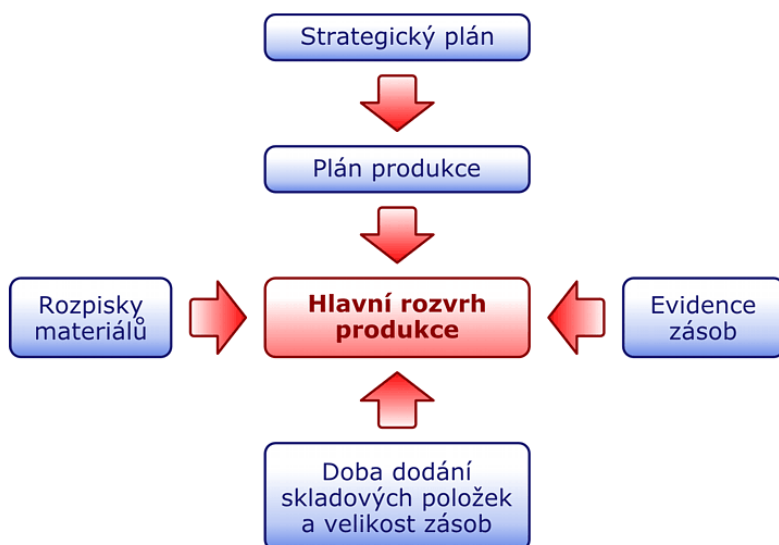
2.4 Vývoj plánovacích systémů

Prvními systémy pro plánování výroby byly MRP I (Material Requirements Planning) systémy založené na plánování materiálových potřeb, které nebraly v úvahu výrobní zdroje, jako strojový čas, lidskou pracovní sílu apod. Systémy MRP II (Manufacture Resource Planning) berou v potaz veškeré zdroje spojené s výrobou. Součástí výrobních ERP (Enterprise Resource Planning) systémů jsou MRP moduly pro vlastní plánování a řízení výroby, respektující specifickou charakteristiku určitých typů výrobních procesů - dávkovou výrobu, sériovou výrobu, zakázkovou výrobu apod.

APS systémy se vyvinuly ze systémů MRP I a MRP II a sdružují v sobě rysy ERP. Následující kapitola se tedy zabývá těmito předchůdci APS systémů. (4)

2.4.1 MRP I

MRP I je informační systém, vytvořený pro řízení zakázek a rozvrhování zásob svázaných s výrobou. MRP systém dává odpověď na tři základní otázky: Co je potřeba? Kolik je toho potřeba? Kdy je to potřeba?



Obr. 4: Tvorba hlavního plánu výroby(5)

- **Hlavní plán výroby**

Hlavní plán výroby podrobně určuje plánovaná množství zboží, která mají být vyrobena během určitého období. Vychází ze strategického plánu podniku a z plánu produkce.

- **Kusovníky materiálu**

Kusovníky materiálu určují požadované množství komponentů výrobku. Potřebné množství, kvalita a doba potřeby dílů závisí na rozvrhu výroby finálních výrobků.

- **Řízení zásob**

Řízení zásob představuje zabezpečování a udržování optimálního množství zásob, potřebných pro realizaci plánů. Ve většině provozů nelze zaručit plynulý chod provozu bez určité úrovně zásob. (5)

2.4.2 MRP II

Plánování výrobních zdrojů (MRP II) je definováno jako metoda pro efektivní plánování všech zdrojů výrobního podniku. V ideálním případě řeší i operativní plánování, finanční plánování, a má schopnost zodpovědět "what-if" otázky. MRP II je řídicí koncept sloužící k větší produktivitě používaných zdrojů. MRP II není standardní softwarový systém a může mít mnoho variant. Téměř každý MRP II systém má modulární skladbu. Charakteristiky základních modulů v systému MRP II jsou:

- hlavní plán výroby (MPS),
- technologické postupy,
- kusovníky,
- výrobní zdroje - výrobní technické údaje,
- řízení zásob,
- řízení nákupu,
- plánování materiálu (MRP),
- dílenské řízení (SFC),
- plánování kapacit (CRP),
- standardní kalkulace (náklady řízení),
- vykazování nákladů / řízení (řízení nákladů).

společně s pomocnými systémy, jako jsou:

- obchodní plánování,
- řízení zakázky,
- nástroje řízení,
- změnové řízení,
- správa konfigurace,
- sběr dílenských dat,
- prodejní analýzy a předpovědi,
- plánování s omezenými kapacitami (FCS).

a souvisejících systémů, jako jsou:

- hlavní knihy,
- závazky z obchodního styku,
- pohledávky (odbytu),
- řízení prodejních objednávek,
- plánování požadavků na distribuci (DRP),
- automatizované řízení skladu,
- projektové řízení,
- technické záznamy,
 - předpověď poptávky – Forecasting,
 - Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing (CAD / CAM),
 - CAPP (Computer Aided Production Planning).

MRP II systém integruje tyto moduly dohromady tak, že používají společná data a snadno si mezi sebou vyměňují informace. (6)

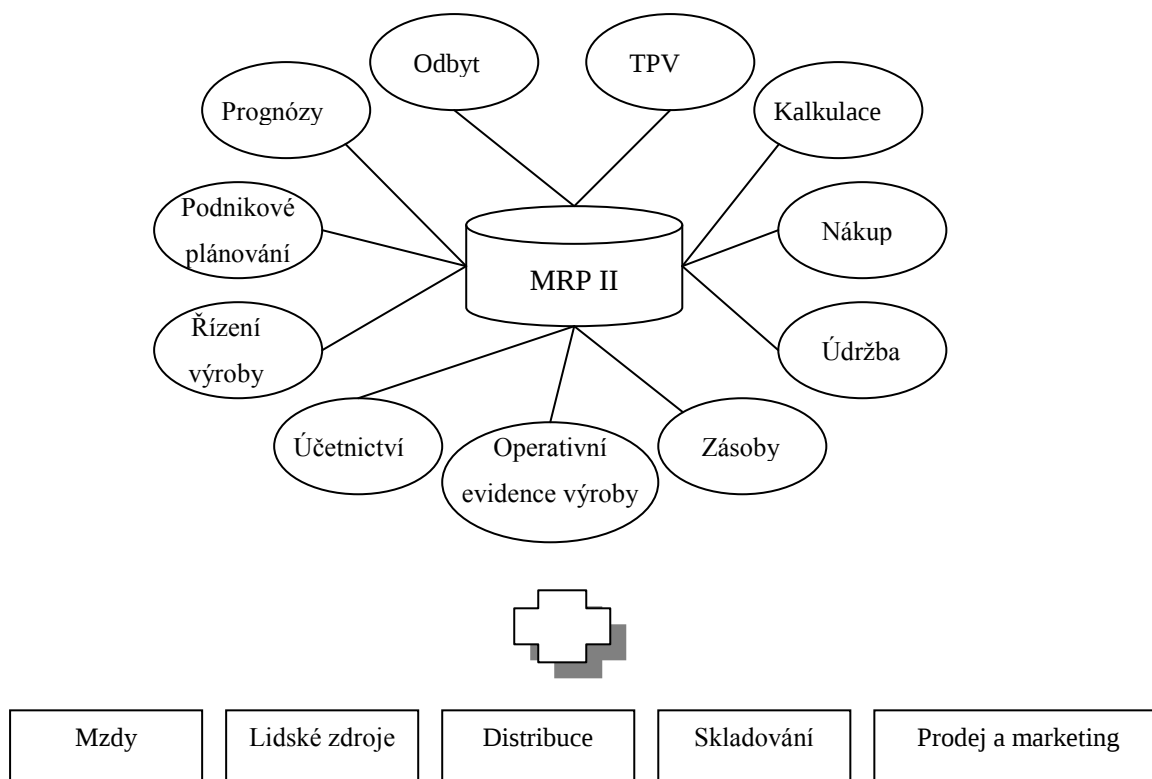
2.4.3 ERP

Enterprise Resource Planning (ERP) je systém, který integruje a automatizuje velké množství procesů souvisejících s produkčními činnostmi podniku. ERP systémy obsahují aplikace, které integrují zákazníky podniku, výrobky, zaměstnance, finanční, výrobní a distribuční informace. Tyto informace ERP systémy ukládají do relační databáze, odkud je lze čerpat a pracovat s nimi.

Přínosy ERP systémů:

- poskytuje informační infrastrukturu potřebnou k
 - implementaci business plánu,
 - tvorbě reportů,
 - datům pro TPV, skladování a výrobu,
- poskytuje rychlý a spolehlivý přístup ke klíčovým informacím,
- umožňuje sledovat a řídit náklady výroby, hodnotu zásob a finanční toky,
- eliminuje redundantní zdrojová data,
- redukuje materiál / náklady na skladování,
- snižuje náklady na nákup,
- zkracuje průběžnou dobu výroby,
- snižuje náklady na IS.

(7)



Obr.5: Enterprise Resource Planning (ERP) (8)

2.5 APS (Advanced Planning and Scheduling)

2.5.1 Definice

Pokročilé plánování a rozvrhování (Advanced Planning and Scheduling) je metoda souběžné synchronizace kapacit a materiálů podle příslibeného termínu dokončení zakázek. Jedná se tedy o moderní systémy pro plánování výroby, které se snaží maximalizovat efektivnost využití výrobních prostředků. (9)

Odkazuje se na proces řízení výroby, kde jsou suroviny a výrobní kapacity přidělovány optimálně pro uspokojení poptávky. APS je obzvláště vhodný pro prostředí, kde jednodušší metody plánování nemohou adekvátně řešit složité interakce mezi vzájemně si konkurujícími prioritami.(10)

2.5.2 Popis

Tradiční plánovací a rozvrhovací systémy (například plánování zdrojů výroby typu MRP) využívají postupnou proceduru pro přidělování materiálu a výrobních kapacit. Tento přístup je jednoduchý, ale těžkopádný, a nesnadno se přizpůsobí změnám v poptávce, v kapacitách zdrojů nebo v dostupnosti materiálu. Materiály a kapacity se plánují samostatně, a mnoho systémů neuvažuje omezené dostupnosti materiálu nebo kapacitní omezení. Proto tento přístup často vede k plánům, které nemohou být provedeny v reálu.

Na rozdíl od jiných systémů, APS současně plánuje a rozvrhuje výrobu na základě dostupných materiálů, práce a kapacit závodu.

APS je obvykle používán tam, kde je přítomna jedna nebo více těchto podmínek:

- výroba na zakázku (Make-To-Order); na rozdíl od výroby na sklad (Make-To-Stock),
- kapitálově náročné výrobní procesy (kontinuální výroba),
- na každém zařízení se zpracovává mnoho různých produktů,
- přípravky, které vyžadují velký počet komponent nebo výrobních úkonů,
- výroba vyžaduje časté změny v plánu, které nelze předvídat dříve, než nastanou.

Software pro pokrokové plánování a rozvrhování umožňuje optimalizaci výrobního a pokročilého plánování v těchto prostředích.(10)

APS systémy se vyvinuly ze systémů MRP(MRP I-Material Requirements Planning, MRP II-Manufacture Resource Planning), ze systémů pro kapacitní plánování CRP (Capacity Requirement Planning) a ze systémů pro rozvrhování výroby. APS sdružují rysy ERP (Enterprise Resource Planning) systémů a znalosti pro plánování a rozvrhování výroby. APS systémy nahrazují MRP systémy a využívají ERP systémy pro připojení na reálný výrobní systém. (9)

2.5.3 Princip

Na rozdíl od ERP systémů, APS berou v úvahu zároveň materiálové a kapacitní požadavky při generování materiálového plánu. Během rozvrhování každé zakázky řeší APS pro každou operaci současně materiály a kapacity. Nejprve je zkoušeno rozvrhnout zakázku pozpátku od termínu, kdy má být hotová. Toto by mohlo být optimální řešení. Pokud to však není možné, pak je zakázka rozvrhovaná dopředu (to znamená od termínu, kdy vstoupí do výroby) a pak se provede znovu rozvrhování pozpátku, aby se odstranily časové mezery. Všechno se odehrává v jednom synchronizačním procesu. Materiálové a kapacitní plánování není již iterační proces jako je tomu u MRP (I,II) systémů.

APS systémy nabízejí uživateli schopnost v reálném čase, on-line, zjistit termíny dokončení zakázek, neboli termíny, kdy je možno přislíbit, že zakázky budou hotové. Tyto termíny jsou odvozeny od aktuálního stavu výrobních zdrojů v reálném čase, místo toho, aby se odhadovalo a čekalo, kdy bude asi výrobní dávka dokončena. Pokud zákazník souhlasí s nabízeným termínem, pak je zakázka okamžitě zařazena do rozvrhu. (9)

2.5.4 Hlavní druhy APS systémů

2.5.4.1 Síťové modely (Network Models, Theory of Constraints -Teorie omezení)

APS systémy využívající síťových modelů se soustředí na objednávky zákazníka a na to, jak jsou tyto individuální zakázky řízeny v podniku, v závodu. Díky tomu, že se plánuje, jak každá zakázka bude postupovat ve výrobě, je možné předpovídat, kdy a kde zakázky budou kolidovat. Tento typ modelu běží směrem shora dolů - tím, že se začíná od objednávky zákazníka a končí se u jednotlivých strojů a zařízení. Nejpokrokovější APS systémy se snaží vyloučit práci v dávkách. Každá zakázka je naplánovaná tak, jak vstupuje do výroby, přitom je bráno na zřetel materiálové a kapacitní hledisko, a to průběžně.

Prvotní přednost tohoto typu modelu spočívá v jeho schopnosti řešit globálně prioritní požadavky, rozpoznat nebezpečí vzniku úzkých míst a synchronizovat zakázky. Management může analyzovat průchod reálných nebo hypotetických zakázek výrobním systémem a zkoumat, jak si tyto zakázky vyhrazují výrobní kapacity a zdroje v průběhu výroby. Výrobce synchronizuje doručení materiálů přesně tak, jak si to žádá výroba, místo toho, aby objednával dopředu materiály v dávkách. Skutečné sklady nemusí existovat, protože nevznikají fronty.

Většina síťových modelů vyžaduje několik průchodů při rozvrhování. Například v prvním průchodu se vypočítávají materiálové požadavky, v druhém průchodu se zohlední kapacitní limity, pak se vrací nazpět a korigují se znovu materiálové požadavky. Problém mnohoprůchodnosti spočívá v tom, že může trvat neurčitě dlouho.

2.5.4.2 Finite Capacity Schedulers (Simulation Based)

Dřívější systémy tohoto typu byly založeny na simulační osnově. Později, asi ke konci osmdesátých let, se tyto systémy vyvinuly do podoby systémů pro rozvrhování výroby, které berou v potaz omezenost dostupných kapacit (Finite Capacity Schedulers - Simulation Based). Model v těchto systémech bere na zřetel jednotlivé stroje a zařízení výroby a zkoumá nejlepší sekvence při průchodu výrobních dávek těmito stroji. Existuje sklon pracovat s některými odnožemi teorie front. Priority jsou nastavovány na základě sekvenčních požadavků lokálních pracovních stanic. Tak je vypracován plán pro celý podnik směrem zdola nahoru.

Tendence využívat tento typ modelu mají především kapitálově intenzivní výroby, u kterých je nečinnost strojů drahá. Takže výrobce, který chce využívat plnou kapacitu vybavení a vyrábět průběžně (nepřetržitě), se zaměřuje na řízení sekvenčnosti (front) u jednotlivých strojů. Výkonnost a efektivnost jednotlivých strojů má větší prioritu než globální priority podniku.

Tento druh modelu dosahuje největší úrovně využitelnosti a užitečnosti. Například v lakovně se ztrácí méně času na vymytí a přeseřízení, když se přechází ze světlejších barev na tmavší. Nebo přeseřízení stroje z výrobků typu A na typ B je rychlejší než z typu A na typ C apod. Systémy využívající tento druh modelu, umožňující konfigurovat pravidla řízení výrobních dávek, poskytují uživateli efektivní nástroj pro řízení priorit a výkonnosti výrobních systémů.

Jeden z nedostatků tohoto typu modelu spočívá v tom, že předpokládá, že existují ve výrobě fronty. Bez těchto front systém nemůže efektivně pracovat. Protože systémy

využívající simulační modely operují s pravidly aplikování na jednotlivé stroje (nebo skupiny strojů), pak ne vždy můžeme předpokládat dosažení globálního optima.

Všechny simulační modely užívající dávkový režim mají omezené schopnosti přizpůsobit se měnícím se podmínkám požadavků zákazníků a stavu výroby.

2.5.4.3 Optimalizace (matematické modely)

Tyto modely berou na zřetel jak globální synchronizaci požadavků zákazníků, tak i požadavky jednotlivých pracovních stanic na uspořádání front výrobních dávek. Jako příklad je možné uvést lineární programování, neuronové sítě, genetické algoritmy, heuristickou iteraci, umělou inteligenci.

Nejlepší výsledky jsou dosahovány v kontinuální výrobě. Jelikož se jedná o stabilnější výrobní prostředí, matematické modely se mohou „učit“ a optimalizovat určité výrobní procesy. Například při výrobě práškové metalurgie ze 100 jednotek vstupního materiálu se vyrobí někdy 91 jednotek, někdy 97 jednotek. Management výroby zjistil, že pokud běží výrobní zařízení rychleji, pak se vyrobí menší množství za kratší dobu (průběžná doba z hlediska zákazníka je kratší) a naopak, pokud běží výrobní zařízení pomaleji, vyrobí se větší množství za delší průběžnou dobu. Matematické modely mohou pomoci tomuto výrobcí, aby zoptimalizoval množství a průběžné doby.

Hlavní přednost těchto modelů spočívá v jejich schopnosti učit se z opakování procesu a najít optimální úroveň výkonnosti výroby. Tento druh modelu nepracuje dobře v podnicích, kde je častá změna zakázek nebo vzniká nutnost často přeplánovávat výrobu, protože se mění podmínky optimalizace a strategie rozvrhování. (9)

2.6 Přehled APS na trhu

Mnoho výrobních společností v Evropě se snaží pro výrobní plánování používat MRP (Material Requirements Planning) algoritmus. V Japonsku jsou ve srovnání s Evropou daleko více rozšířeny specializované softwarové aplikace pro detailní kapacitní plánování a rozvrhování výroby. Ty udávají „takt“ celému závodu a synchronizují výrobní kapacity.

V Evropě je pouze několik málo dodavatelů skutečného APS software. Obecně je software pro plánování a řízení výroby na Západě méně zastoupen ve srovnání se softwarem pro ostatní byznys oblasti. Důvodem je zřejmě fakt, že v Japonsku je pro IT oddělení zpravidla hlavním „zákazníkem“ výroba nebo oddělení výrobního plánování. V Evropě je IT oddělení často podřízeno finančnímu řediteli. (11)

2.6.1 APS produkty na českém trhu

I přes předchozí fakt se na českém trhu stále rozšiřují APS systémy. V dnešní době se zde vyskytuje široké množství APS produktů. I proto je třeba je porovnávat podle různých kritérií. Mezi ně patří například:

1. Funkčnost systému

Toto kritérium určuje do jaké míry je systém rozvinut, zda dokáže optimalizovat dle různých parametrů, jaké plánování a jaké metody využívá. Konkrétní hodnotící parametry jsou:

- optimalizace
 - dle úzkých míst,
 - dle závislých seřizování,
 - dle volitelných kritérií.
- plánování
 - strategické,
 - operativní,
 - taktické,
 - dle dopravy,
 - dle dodávky,
 - dle poptávky,
 - ATP(Available-to-Promise),
 - AATP(Allocated-Available-to-Promise),
 - CTP(Capable-to-Promise).

- metody
 - CRP(Continuous Replenishment Planning),
 - VMI(Vendor Managed Inventory),
 - ECR(Efficient Consumer Response),
 - CPFR(Collaborative Planning, Forecast and Replenishment).

2. Zaměření systému

Využitelnost systémů APS ve výrobě je velmi široká. Systémy APS se využívají v mnoha průmyslových odvětvích, např. ve strojírenství, hutnictví, automobilovém průmyslu, chemickém průmyslu a mnoha dalších. Jsou zaměřeny také na mnoho druhů výrob. Proto jedním z hodnotících kritérií je i zaměření systému, a to na:

- typ výroby
 - kontinuální,
 - diskrétní.
- sériovost výroby
 - kusová,
 - sériová,
 - hromadná.
- odvětví-průmysl
 - automobilový,
 - hutní,
 - chemický, farmaceutický,
 - potravinářský a nápojářský,
 - stavební,
 - strojírenský,
 - textilní, obuvnický,
 - ostatní.

3. Další vlastnosti systému

- používaná implementační metodologie,
- certifikace produktu.

4. Architektura a platformy

- architektura systému,
- platforma systému - operační systém serveru,
- platforma systému - operační systém klienta,
- možné platformy systému – databáze.

5. Uživatelé

Toto kritérium uvažuje rozšířenost systému mezi uživateli, a to celosvětově, ale i v České a Slovenské republice. Konkrétní kritéria jsou:

- počet instalací produktu (počet zákazníků celosvětově),
- počet instalací produktu v ČR,
- pro jakou velikost podniku je produkt určen,
 - malé podniky (obrat do 250 mil. Kč),
 - středně velké podniky (obrat 250 mil. - 2 mld. Kč),
 - velké podniky (obrat nad 2 mld. Kč).
- reference,
 - průměrná doba implementace u podniku střední velikosti,
 - reference produktu v ČR.

(12)

2.6.2 Popis vybraných systémů

Jak už bylo zmíněno výše, na českém trhu se vyskytuje mnoho APS systémů s různým zaměřením. Následující podkapitola zahrnuje popis několika z nich.

2.6.2.1 AHP Leitstand

AHP Leitstand je nástroj pro operativní plánování a řízení výroby. AHP Leitstand řeší výrobní plány na jiné úrovni než komerční celopodnikové informační systémy a to jak z hlediska času, tak z hlediska zdrojů.

Je určen k tomu, aby napomohl s denní organizací práce na dílně. Jinými slovy, aby zbavil mistry administrativní plánovací práce a umožnil jim věnovat se práci mistra – tj. zajistit výrobu podle reálného plánu práce sestaveného pro jednotlivá výrobní zařízení v rámci směny nebo dne. AHP Leitstand byl navržen k tomu, aby doplnil mezeru ve funkcionalitě, kterou mají tzv. komplexní informační systémy. A z toho důvodu je také připravený k integraci s podnikovým systémem (a to i v případě, že se plánuje např. v Excelu).(13)

2.6.2.2 AROP

AROP - Systém plánování a řízení výroby je softwarový nástroj sloužící pro přímou podporu řízení výrobního procesu. Základní koncepce systému (MSO – Modelování, Simulace, Optimalizace) je metodou umožňující na základě vložených údajů modelovat, předvídat a optimalizovat budoucí výrobní procesy. V reálné praxi pak vychází ze situačně závislé disponibilnosti zdrojů. Přináší trvalou simulaci průtoku výrobním systémem, jejímž východiskem je okamžitý stav výrobních aktivit. Dynamické plánování výroby umožňuje přímé řízení hmotného toku ve výrobě s minimálními nároky na sběr dat.

AROP informuje o aktuálním stavu a úzkých místech ve výrobě, avizuje skluzy a jejich budoucí dopady na plnění výrobního plánu, zabezpečuje výrobu potřebnými hmotnými vstupy a kapacitami v libovolném časovém okamžiku, řídí a sleduje činnost vstupní, výstupní a mezioperační kontroly. AROP reaguje na změny uvnitř i v okolí výrobního procesu, řeší věcnou i prostorovou organizaci veškerých zásob a jejich sledovatelnost z hlediska původu a kvality a tvorbou kompletního archivu dat popisujícím skutečný průběh výroby, zabezpečuje zpětnou sledovatelnost jakosti podle normy ISO 9000. Kromě detailního plánování

a sledování hmotného toku ve výrobě přináší i jeho potřebné nákladové a ekonomické vyjádření s přímou vazbou na účetní operace o nedokončené výrobě a pohybech zásob. (14)

2.6.2.3 Asprova

Asprova APS je multifunkční nástroj pokročilého plánování a rozvrhování, který má více než 1400 implementací. Asprova APS obsahuje rozmanité specifikace a funkcionality, jako jsou automatické dělení operace, určení hladiny zatížení, nastavení priorit zdrojů, výpočet potřebného množství pracovníků, nastavení přídatných zdrojů (formy, upínky, nástroje, apod.), slučování a rozdělování procesů, nastavení periody platnosti zdroje, omezení, který zdroj může provádět následující proces podle podmínek omezení zdroje, funkce pro definice vyhodnocovacího výběru zdrojů, nastavení omezení pro ukončení seřízení nebo procesu, dispečerská pravidla pro výběr zakázky s největšími prioritami, definice množiny parametrů pro provádění různých simulací, sdružování dávek z důvodu redukce seřizovacích časů procesů, filtrování podle označení části zakázek, procesů nebo položek, dopředné a zpětné rozvrhování s omezeními časovými bufry, omezení zdrojů s ohledem na bezpečnostní hladinu zásob i přidělení zásob, nastavení dovolující rozmanité specifikace podmínek pro paralelně probíhající procesy, mapa dovedností pracovníků dovolující specifikovat jejich přidělení ke zdrojům a jejich dovednosti pro tyto zdroje, funkcionalita automatického přidělování se zřetelem na komplexní podmínky přidělování mezi zakázkami, nastavení seřizovacích časů obsahující externí seřizování, zdržení nebo změny seřizovacího času, hrubé plánování dovolující vybilancování zatížení bez fixace zakázek, automatická generace příkazů (výrobních, zásobovacích, apod.) na doplnění materiálů (zásob) s ohledem na stávající úroveň. Během přeplánování je možné uchovat (zapamatovat) přidělené pozice a provádět rozmanité modifikace, generovat výrobní příkazy podle forecastu zákazníků s ohledem na bezpečnostní úroveň zásob, sdružování dávky meziproductů pro každou časovou periodu.

2.6.2.4 Infor ERP Syteline APS

Infor ERP Syteline je komplexní systém řízení výrobního podniku. Je vhodný i pro hybridní typy výroby a podporuje procesy, které urychlují výrobu. Řešení zahrnuje integrované pokročilé plánování, které synchronizuje materiál a kapacity na zakázky. Infor ERP SyteLine poskytuje integrovaný nástroj ke konfiguraci zakázky. Dále umožňuje držet

nízké zásoby a současně předcházet nedostatkům materiálu. Řešení automatizuje proces výpočtu a monitoruje úroveň zásob – prognózy, pojistné zásoby a velikost dávky.

Zahrnuje sofistikované nástroje pro sběr a analýzu dat – přičemž tato data využívá pro plánování a rozhodování. Nové formuláře a tlačítka redukuje počet klikání a umožňují snadnější navigaci. Nástroje pro kustomizaci jsou plně integrovány, což snižuje či eliminuje riziko případných modifikací. (15)

2.6.2.5 Preactor

Preactor obsahuje funkcionalitu a vlastnosti, které jsou vyžadovány od plánovacího nástroje.

Je to aplikace, která pracuje v prostředí MS WINDOWS a převážně umožňuje práci s myší. Umožňuje kontrolu podnikových činností, zlepšený zákaznický servis a možnost dosáhnout snížení nákladů. Preactor poskytuje plánovač s podpůrným nástrojem na interaktivní rozhodování, který udržuje rovnováhu mezi poptávkou a kapacitou. Na rozdíl od tabulek a MRP se může Preactor zabývat složitostmi širokého záběru systémů. Nastavení a používání generuje plány v minutách.

Je celosvětově instalován na více než 3000 místech ve 64 zemích. Posloupnost práce může být prováděna použitím automatických dostupných celků, ale Preactor také dovoluje plánovači upravit počítačem vygenerovaný plán posunutím činností v posloupnosti a z jednoho zdroje na druhý.

Urgentní objednávky mohou být upřednostněny, kritické práce v budoucnosti zablokovány a mnoho plánů vyzkoušeno a srovnáno před stanovením rozhodnutí. Data z rozdílných běžících plánů mohou být přeneseny do Gantova diagramu, výkresů a reportů. Fronta práce pro každý zdroj, karta směru trasy pro každou dávku a další informace mohou být generovány ve formátu definovaném uživatelem. (16)

2.7 Digitální továrna

Tato kapitola se zabývá reprezentací reálné výroby v podobě digitální továrny. Virtuální provoz výrobního systému umožňuje experimenty, které by byly ve skutečnosti drahé, časově náročné, nebezpečné nebo zcela nemožné.

2.7.1 Co je digitální továrna?

Digitální továrna (Digital Factory - DF) je virtuálním obrazem reálné výroby, který zobrazuje výrobní procesy ve virtuálním prostředí. Pod tímto pojmem se také rozumí předvídavé a průběžné plánování výroby.

2.7.2 Cíle digitální továrny

Jedním z hlavních cílů zavedení digitální továrny je včas a digitálně ověřit efektivitu různých variant plánování a rychlejší a pečlivější příprava procesů a simulace. Digitalizace umožňuje omezit náklady a časové ztráty pomocí optimalizace ve vývojové fázi. V neposlední řadě je cílem digitalizace dosáhnout úspěchu na trhu výrobků a udržet si náskok oproti konkurenci.

Níže jsou uvedeny některé hlavní cíle zavedení digitalizace:

- zrychlení procesů plánování,
- snížení nákladů,
- zvýšení kvality plánování,
- řízení komplexnosti výrobku a procesu,
- zlepšení komunikace s vývojovými partnery a dodavateli,
- kratší doba náběhu při nižších nákladech.

2.7.3 Problémy řešené pomocí digitalizace továrny

Digitální továrna se zavádí zejména v situacích, kdy je potřeba řešit některé z následujících problémů

- nedostatek kapacity,
- logistika,
- ztráty při chybě v plánování,
- kapacita skladů,

- využitelnost zdrojů,
- přidání nových zařízení atd.

2.7.4 Přínosy digitální továrny

Hlavní přínosy digitální továrny lze spatřovat především v oblasti plánování nové výroby a řadí se mezi ně zejména:

- snížení podnikatelského rizika při zavádění nové výroby,
- ověření navrhovaného konceptu výroby a výrobních procesů,
- virtuální prohlídky výrobních hal,
- optimalizace rozmístění výrobního zařízení,
- odhalení slabých míst a kolizí,
- omezení potřeby prototypů,
- programování strojů a linek off-line,
- rychlejší rozmísťování strojního zařízení,
- simulace výrobních linek, robotů a pracovních postupů,
- prověření procesů před zahájením výroby,
- posouzení ergonomie pracovišť,
- redukování potřebné plochy a úprav zařízení,
- urychlení změnového řízení,
- lepší využívání dostupných zdrojů.

Následující tabulka (Tab.č.1) zobrazuje výsledky dosažené nasazením systémů DF (dle studie CIMdata report „The Benefits of Digital Manufacturing“).

Přínosy systémů DF	
Úspory nákladů díky snížení majetku:	10%
Úspora ploch díky optimalizaci layoutů:	25%
Úspora nákladů díky lepšímu využití zdrojů:	30%
Úspora nákladů díky optimalizaci materiálových toků:	35%
Snížení počtu strojů, nástrojů a pracovišť:	40%
Celkové snížení nákladů:	13%
Celkové zvýšení produkce:	15%
Zkrácení doby nutné k uvedení výrobku na trh:	30%

Tab.1: Výsledky dosažené nasazením systému DF(17)

2.7.5 Systémy digitální továrny (dále jen systémy DF)

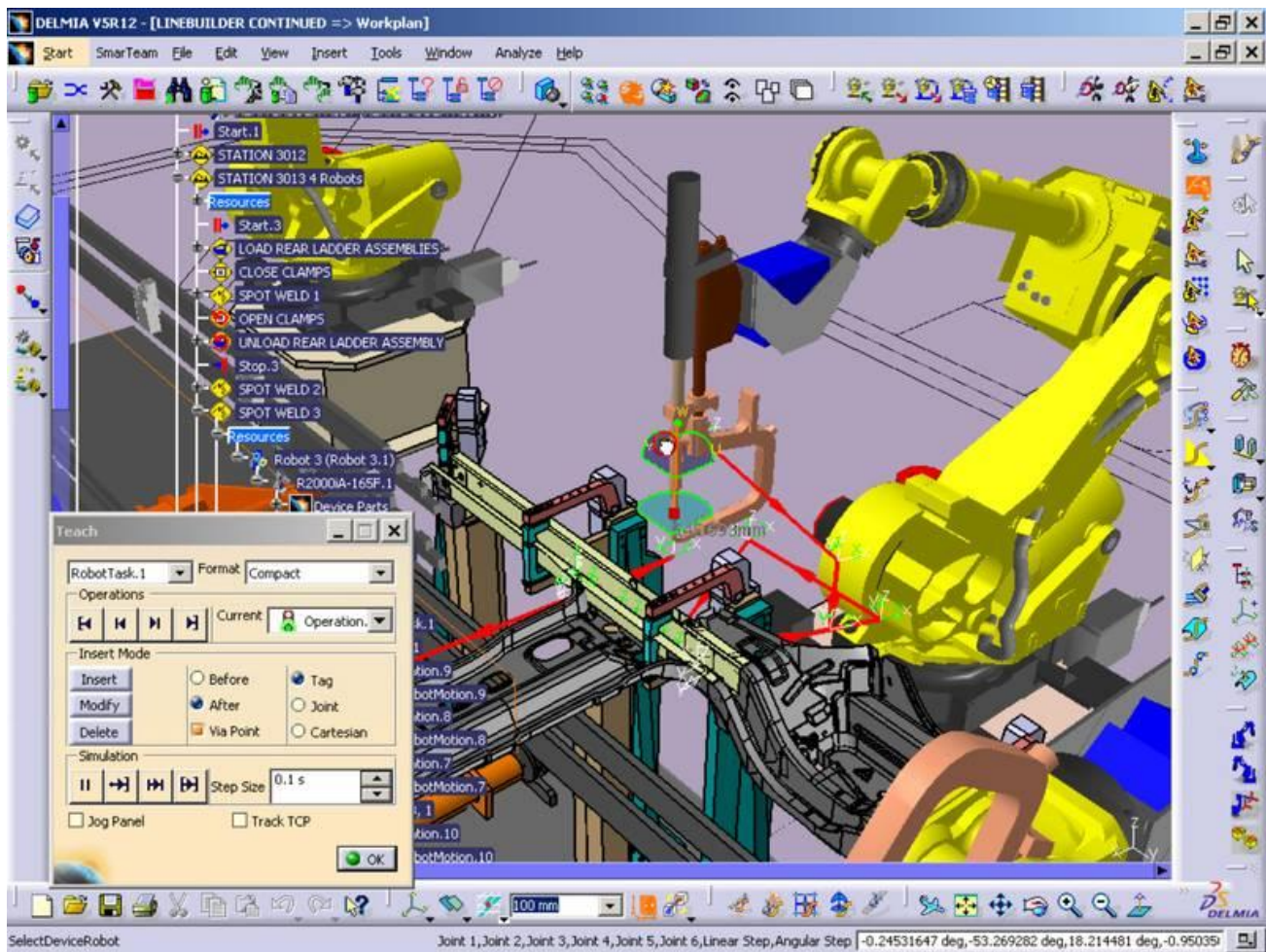
Systémy DF představují další, logický krok v postupném vytváření specializovaných nástrojů pro podporu procesů v celém životním cyklu výrobků. Již během fáze plánování mohou být ověřeny všechny části výrobního systému takovým způsobem, že následná reálná výroba výrobku pak bude zajištěna z hlediska kvality, času a nákladů. Kumulativní náklady na provedení jakékoliv změny výrazně rostou s tím, jak se přibližuje termín zahájení výroby (Start of Production - SOP). Přitom ověření vyrobitelnosti při klasickém plánování je možné, až když existují fyzické prototypy výrobků a výrobních zařízení. Díky možnosti přesunout ověřování vyrobitelnosti do ranějších fází plánování, jsou náklady na provedení změn při využívání systémů DF výrazně nižší. Systémy DF dále vytvářejí podstatně lepší podmínky pro týmovou spolupráci v etapě plánování výroby a umožňují rychlou zpětnou vazbu mezi konstruktéry a plánovaly.

2.7.6 Uživatelé systému DF

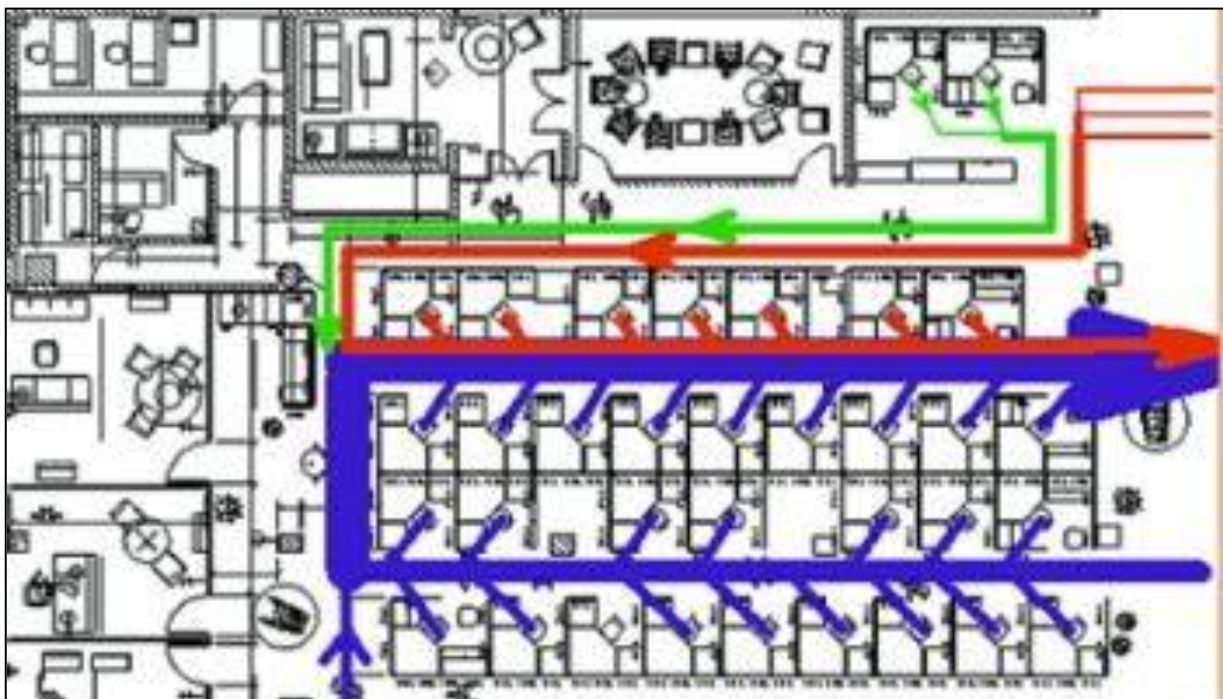
Výrobní podniky, které využívají systému DF, pocházejí většinou z několika oblastí. Je to především oblast automobilového průmyslu, leteckého průmyslu, elektrotechnického průmyslu a průmyslu staveb zařízení a strojírenství.

Některými uživateli systému DF jsou například společnosti: Airbus, Audi, Bath Iron Works, BMW, Boeing, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Kia Motors, Lockheed Martin,

Mazda, Northrop Grumman, Opel, Peugeot, Renault, Saab, Siemens, Škoda Auto, Toyota, Volkswagen a další. (17)



Obr. 6a,b: Ukázky virtuální továrny (převzato z materiálů firmy Siemens)(17)



3 Analýza problémů a návrhy řešení

Následující kapitola obsahuje analýzy, simulace a optimalizace konkrétních výrobních systémů. Dále zahrnuje výsledky a návrhy řešení.

3.1 Řízení průběhu výrobních příkazů ve společnosti M a.s. (Simulační model)

3.1.1 Úvod

Komplex výrobních, pomocných a administrativních prostor společnosti splňuje použitými technologiemi a energetickými zdroji přísná ekologická hlediska. Dlouholetá tradice výroby lékařských nástrojů vytvořila know-how, umožňující zaujmout odpovídající místo na trhu České republiky i úspěšnou konkurenční schopnost na náročných zahraničních trzích. Rozhodující podíl výroby a prodeje tvoří nástroje pro humánní lékařství ze všech hlavních oborů lékařských specializací včetně kostní chirurgie a implantátů. Hlavním cílem společnosti je stát se moderní evropskou firmou, která dokáže předvídat potřeby svých zákazníků a přizpůsobit se jim stálým zlepšováním systému poskytovaných služeb.(18)

3.1.2 Popis výrobního systému

Jedná se o výrobní systém na obrábění především výrobků z titanu. Výrobky jsou určeny pro chirurgické úkony v oblasti humánní medicíny. Výrobní systém se skládá z následujících hal:

hala umístění

h1 sklad materiálu

h2 automatárna, kontrola aut.

h3 chirurgie, traumatologie, omílání, mytí, značení, kontrola chir+trauma

h4 galvanovna

h5 obrobna

h6 kalírna

Tab.2: Haly výrobního systému (zdroj: vlastní)

Hlavní výrobky, které jsou součástí simulačního modelu, lze rozdělit do 3 skupin:

- Šrouby



- Dlahy

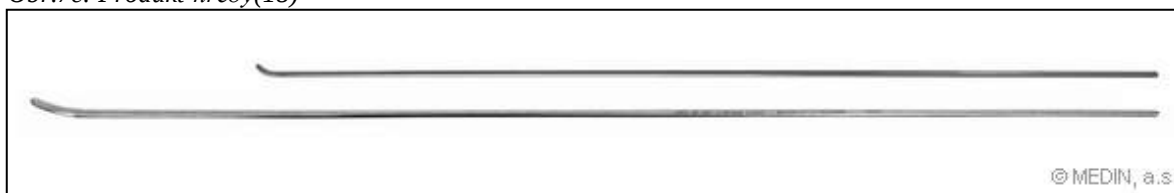
Obr.7a: Produkt-šrouby(18)



Obr.7b: Produkt-dlahy (18)

- Hřeby

Obr.7c: Produkt-hřeby(18)



Uvedené výrobky mají svoje technologické postupy. Jelikož se jedná o samostatné výrobky, kusovníky nejsou zahrnuty do modelu.

Uvažovaná je následující produkce:

Dávky na výrobní příkaz

šrouby:

dávky:	množství
1OR35100 200 ks	13 000
397129795570 200 ks	17 000
397129791533 100 ks	5 000

dlahy:

dávky:	množství
397129771040 100 ks	1 500
397129777360 25 ks	350
397129082150 50 ks	350

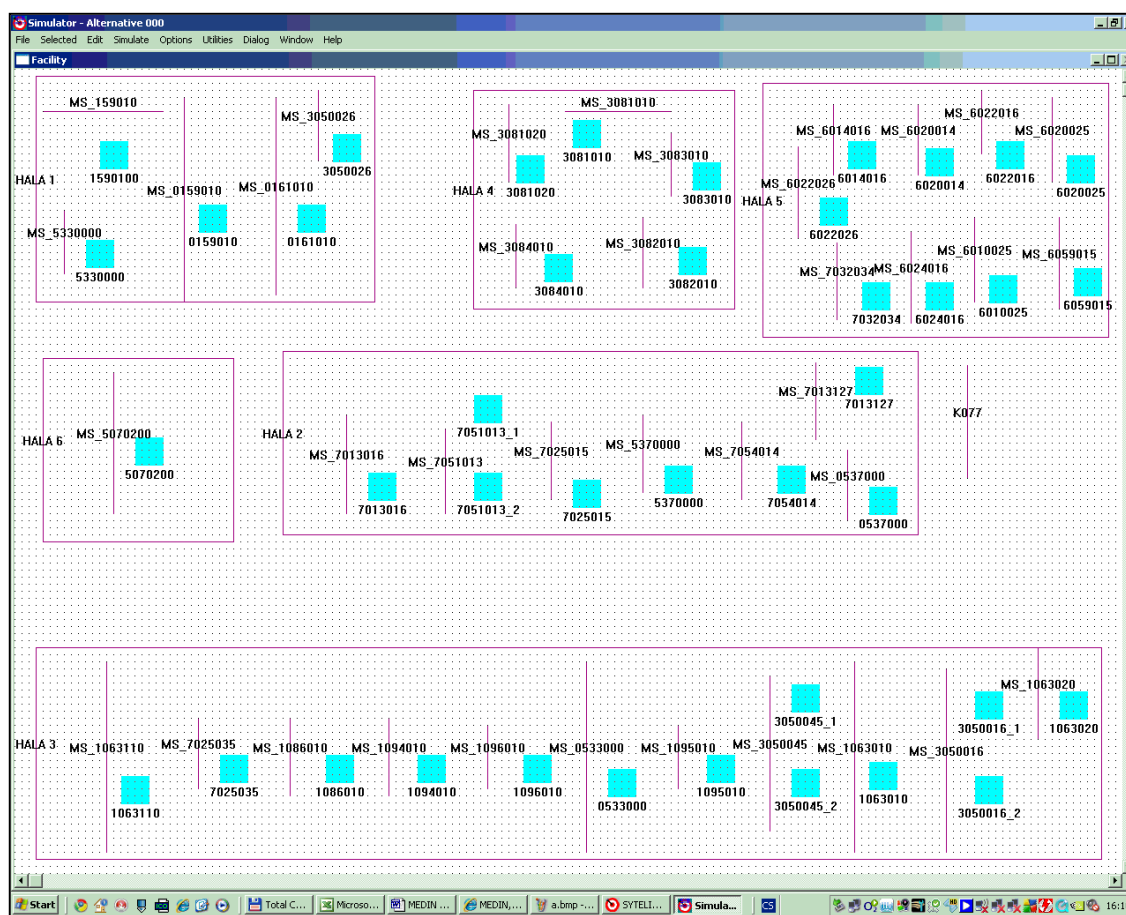
hřeby:

dávky:	množství
P3401997 100 ks	400
397129771330 30 ks	450
397129778693 15 ks	180
397129777650 20 ks	280

Tab.3: Dávky na výrobní příkaz (zdroj: vlastní)

3.1.3 Popis simulačního modelu

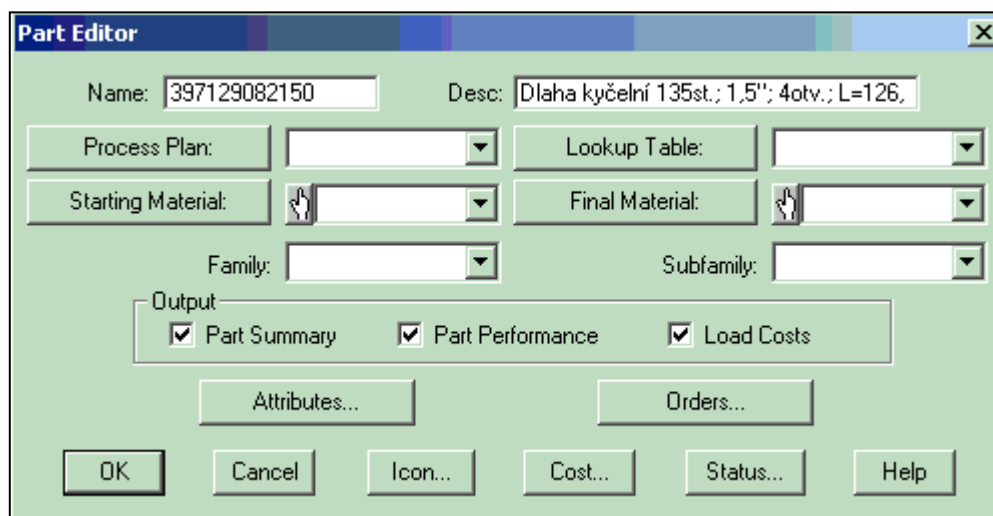
Layout výrobního systému obsahuje všechny stroje, které jsou uvedené v technologických postupech. Tento layout je schematický a neodpovídá reálnému rozmístění strojů, protože simulační model nebere na zřetel dopravu rozpracované výroby. Toto zjednodušení je zvoleno na základě dostupných dat, které neobsahují informace o transportu materiálů a položek. Nicméně dopravní časy jsou zahrnuty do procesních časů, ale pouze jako průměrné hodnoty. Toto omezení ovlivňuje přesnost simulačního modelu. Layout obsahuje kromě strojů i meziklady ke každému stroji nebo skupině strojů. Stroje a meziklady jsou vloženy do jednotlivých výrobních hal, jak ukazuje obrázek č. 8.



Obr.8: Stroje a meziklady v jednotlivých výrobních halách (zdroj: vlastní)

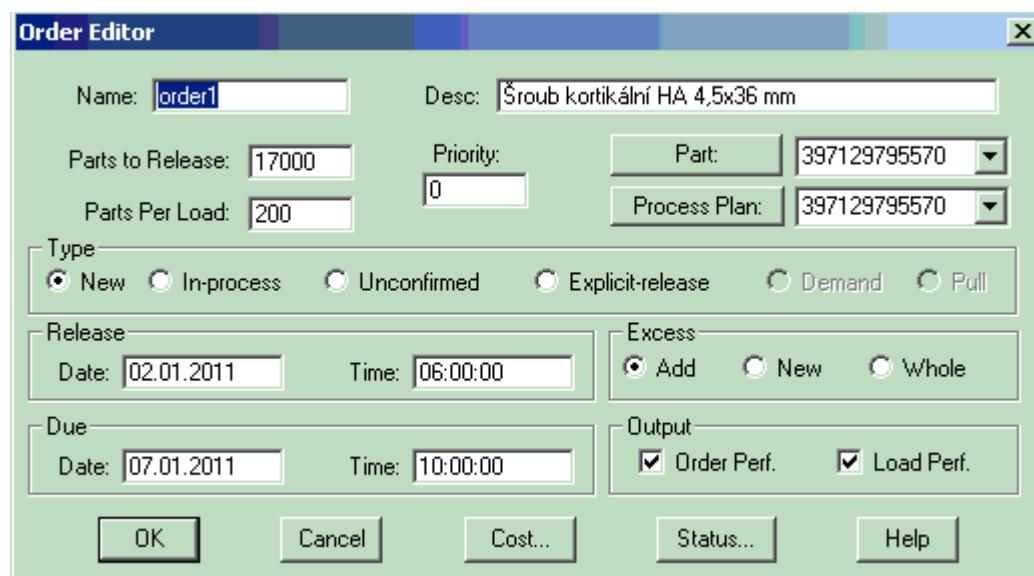
V simulačním modelu jsou nadefinovány následující komponenty:

- Výrobky – jsou definované za použití modelovacího komponentu „Part“:



Obr.9: Definice výrobků (zdroj: vlastní)

- Zakázky (výrobní příkazy) – jsou definované za použití modelovacího komponentu „Order“:



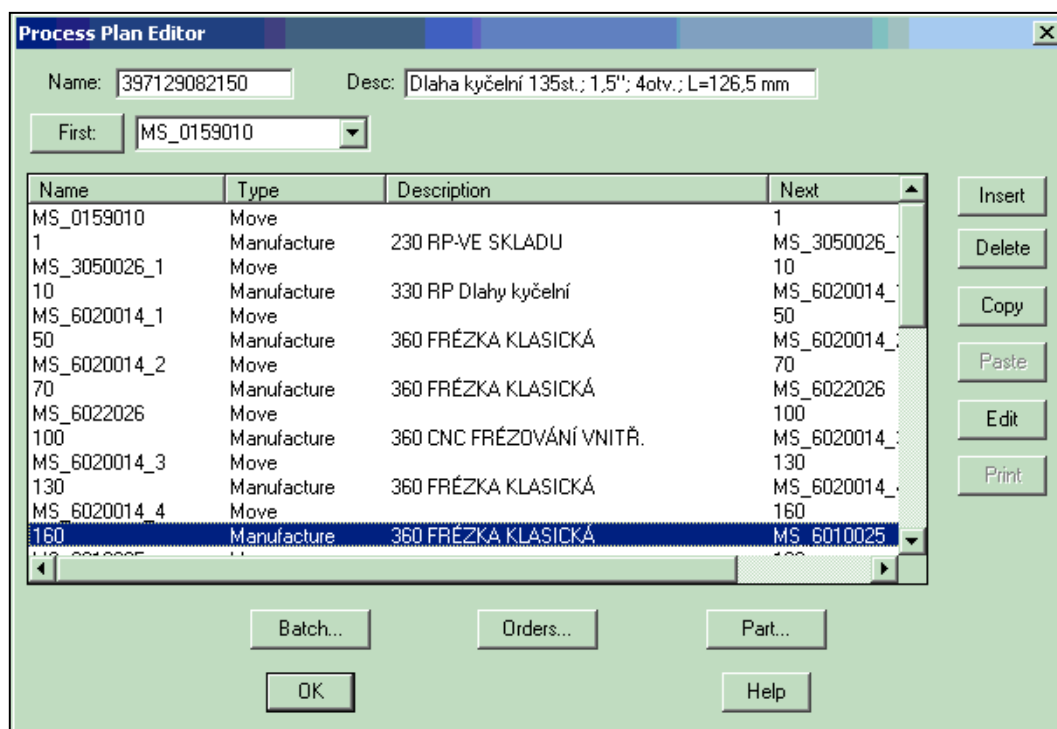
Obr.10: Definice zakázky (zdroj: vlastní)

Zde je definováno celkové požadované množství a dávkové množství. Počet dávek se pak vypočítává tak, že se podělí požadované množství dávkovým množstvím. Ve výše uvedeném případě je to: $17000/200=85$ dávek. V případě, že dělením nevznikne celé číslo, pak nastavení „Excess“ rozhodne, jak se naloží s přebytkem. Jelikož „Excess“ je nastaveno

na „Add“, pak by se přebytek přidal k poslední dávce a tímto způsobem by se vyrobilo přesně požadované množství.

V definici zakázky je uveden i termín, kdy má být zakázka hotova „Due Date“. Tento termín může simulační systém použít pro řízení vstupů dávek do výroby a pro řízení front dávek ve výrobě. Jelikož je ale cílem simulačního modelu i ověření maximální propustnosti výroby, pak všechny výrobní příkazy mají stejný termín dokončení a stejný termín vstupu do výroby „Release Date“. Tím se na začátku plánovacího období vytvoří fronta všech výrobních dávek na vstupu do výrobního systému. Priority výrobních příkazů jsou stejné, a proto dávky nejsou řízeny na základě priorit.

- Technologické postupy – jsou modelovány za použití modelovacího komponentu „Process Plan“:



Obr.11: Process Plan (zdroj: vlastní)

Procesní plán je sestaven z jednotlivých procesních kroků (modelovací komponenta Manufacturing Jobstep), a to tak, jak jsou definované v technologickém postupu:

Manufacture Jobstep Editor

Name: 100 Desc: 360 CNC FRÉZOVÁNÍ VNITŘ. Next: MS_6020014_3

Process Plan: 397129082150 Previous Jobstep...

Resource/Pool/Group

Name: Units: Action:

--NEW--		
MS_6022026	1	Free After
6022026	1	Allocate / Free

New Delete

Operation Time

Expr: 0.48644 Rule: Part Cycle Time

Setup

Resource: 6022026 Required: Table: Rule: Basis Basis: Part

Setup Time

Expr: 3 Rule: Fixed Setup Time

Move - Cool Time

Move Expr: 0.0 Cool Expr: 0.0

OK Cancel Materials... More... Help

Obr.12: Definice procesního kroku (zdroj: vlastní)

Definice seřízení (Setup) vyžaduje určení seřizovacího času (T_{bc}) zdroj, který se seřizuje a algoritmus přeseřízení. Na uvedeném procesním kroku je seřizovací čas 3 hodiny, seřizuje se zdroj 6022026 (360 CNC FRÉZOVÁNÍ VNITŘ.) a přeseřízení se provádí, jenom když se mění typ výrobku (Part). Tím se docílí minimálního času na přeseřízení, protože výrobní dávky jednoho výrobního příkazu se zpracovávají po sobě, bez přerušení. Zde ovšem vzniká problém, zda-li jsou dodrženy termíny zakázek.

Dále je definován procesní čas (T_{ac}), a to jako kusový čas (Part Cycle Time) a zdroj, na kterém proces probíhá. Je to stejný zdroj, který se nejdříve seřizoval. Jak již bylo uvedeno, časy přesunu i dodatečného zdržení (Move/Cool time) nejsou definované zvlášť, protože jsou zahrnuty do procesních časů. Toto platí jenom pro procesní kroky prováděné v rámci jedné haly. Pokud se výrobní dávky přemísťují do jiné výrobní haly, pak jsou transportní časy definovány.

- Zdroje a skupiny zdrojů – pro definici jsou použity modelovací komponenty „Resource“ a „Resource Group“.

Obr.13: Definice zdroje, skupiny zdrojů (zdroj: vlastní)

Na začátku simulace nejsou stroje seřizeny, takže první operace vyžaduje seřizovací zdržení. Poruchy strojů, pravidelné odstávky apod. zdržení nejsou definována v zadání a nejsou uvažována.

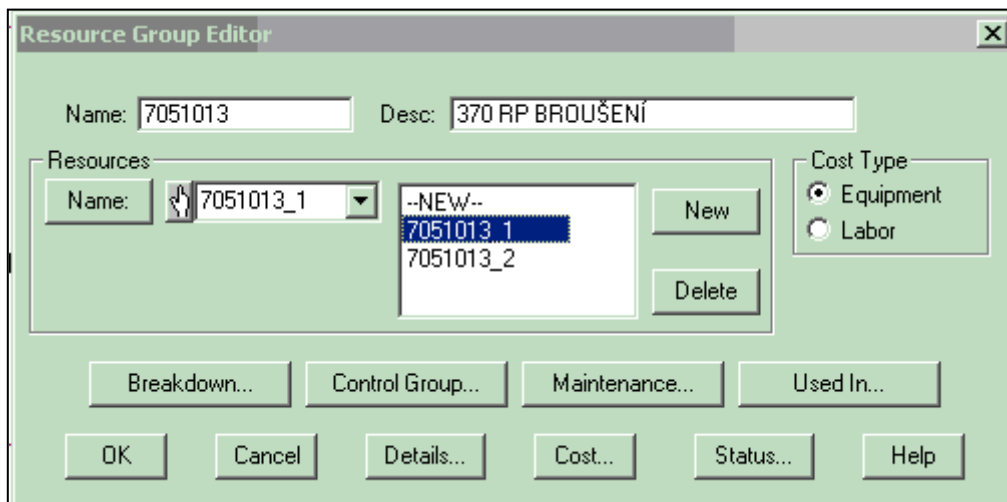
Maximální dostupná kapacita zdroje je omezena použitím pracovních směn (Shift):

Shift	Start Time	End Time
2	06:00:00	14:00:00
3	06:00:00	14:00:00
4	06:00:00	14:00:00
5	06:00:00	14:00:00
6	06:00:00	14:00:00

Obr.14: Definice směn (zdroj: vlastní)

Jsou uvažovány standardní pracovní směny, u kterých je faktor navýšení nákladů nastaven na 1 (nedochází k navyšování nákladů vlivem přesčasů apod.)

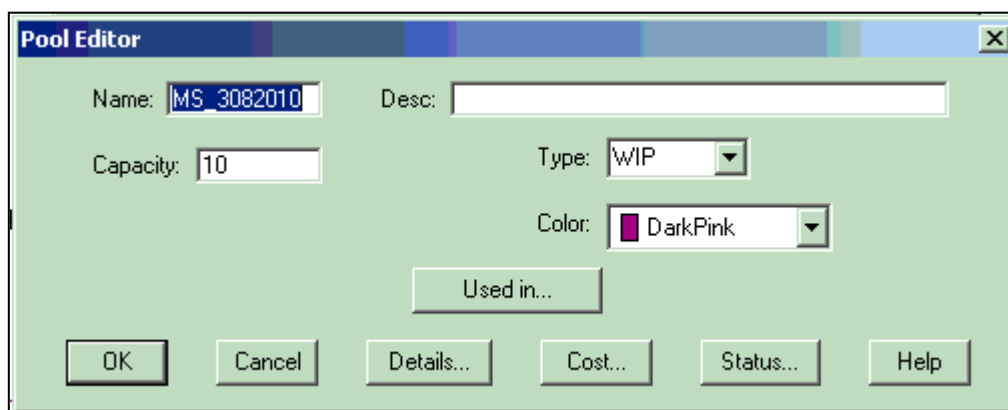
Zdroje jsou sdružovány do skupin podle typu výrobních operace, kterou provádějí:



Obr.15: Definice sdružení zdrojů do skupiny (zdroj: vlastní)

Výběr zdrojů ze skupiny se provádí podle algoritmu „Select in Sequence“ podle seznamů zdrojů ve skupině.

- Meziklady – pro animace fronty dávek u zdrojů nebo u skupin zdrojů jsou definovány meziklady za použití modelovací komponenty „Pool“:



Obr.16: Definice mezikladu (zdroj: vlastní)

Po ukončení předcházející operace je dávka umístěna do mezikladu pro zdroj (nebo skupinu zdrojů) následující operace. Pokud je zdroj dostupný, dávka ho alokuje a čas zdržení v mezikladu je nulový. V případě, že zdroj není volný, čeká v mezikladu na uvolnění zdroje.

- Nastavení simulačního prostředí

Obr.17: Nastavení simulačního prostředí (zdroj: vlastní)

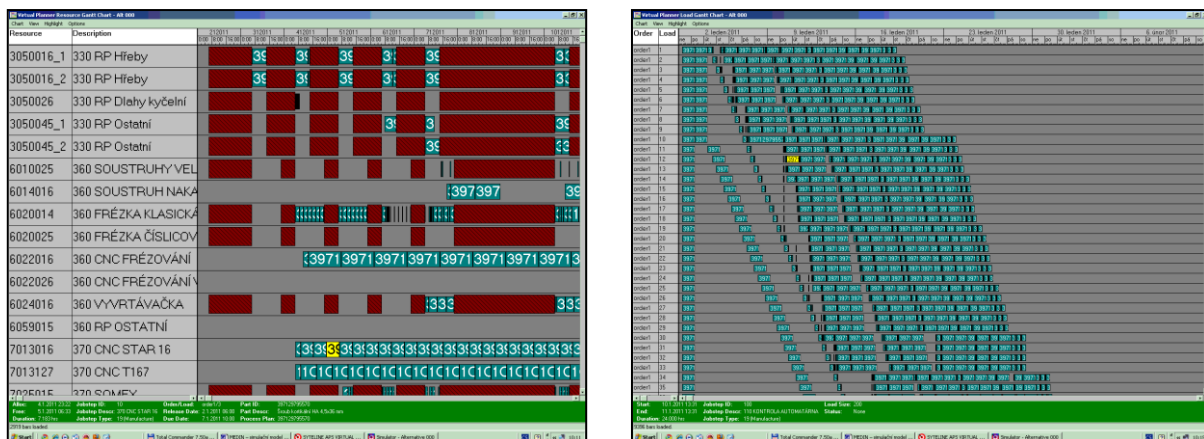
Délka simulovaného období je nastavena tak, aby byly všechny dávky zpracovány. Vstup zakázek do simulované výroby je podle algoritmu „Low priority“. Fronty dávek jsou řízeny algoritmem „FIFO“.

3.1.4 Verifikace a validace simulačního modelu

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

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

Verifikace a validace simulačního modelu se prováděla za využití ganttových diagramů zdrojů a zakázek:



Obr.18 a,b: Ganttovy diagramy pro zdroje a zakázky (zdroj: vlastní)

3.1.5 Analýza počátečního stavu a výsledky základního simulačního modelu (základní alternativa – počáteční stav)

Následující podkapitola obsahuje počáteční stav výrobního systému, hodnocení jeho výsledků, které byly získány z analýzy simulačního modelu za použití dvou analytických nástrojů typu APS: Virtual Planneru a Simplanu. Cílem bylo určit a optimalizovat úzká místa výroby.

3.1.5.1 Analýza výsledků simulačního modelu za použití Virtual Planneru

Za použití APS systému byly získány následující souhrnné výsledky:

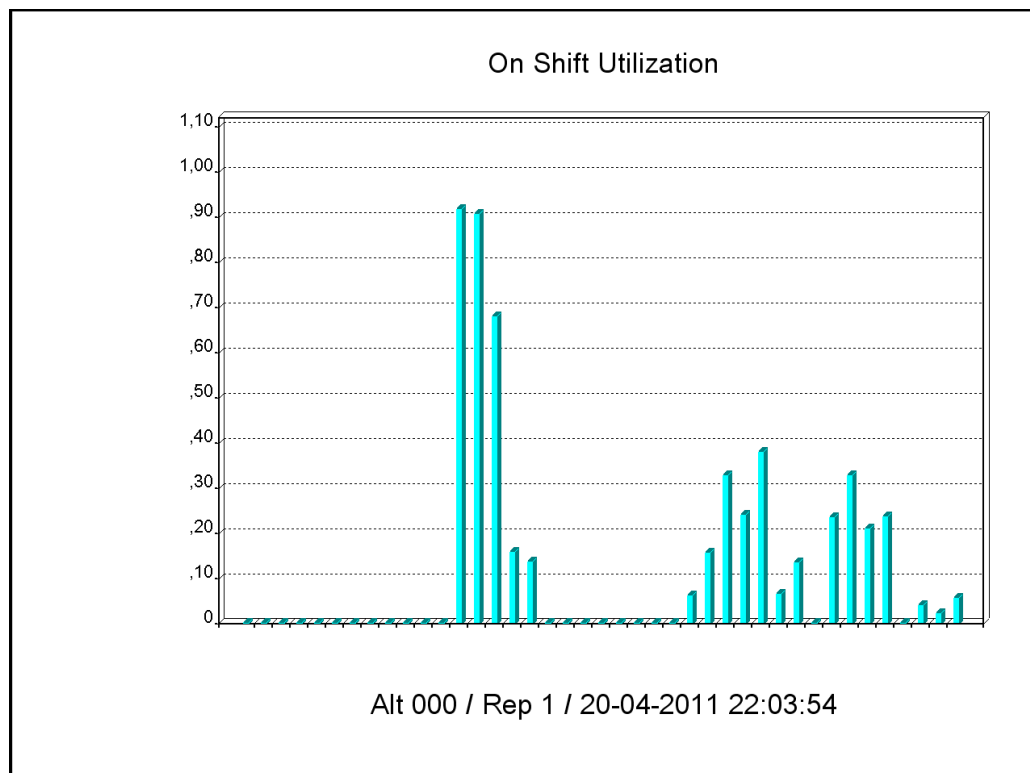
- Celkový počet vyrobených výrobků – 38520 ks.
- Výrobnost (Production rate) – 14.77 ks/hod.
- Průměrná průběžná doba zakázky – 1784.964 h.
- Průměrný počet čekajících dávek – 96.682 ks.
- Průměrný počet dávek na zdrojích – 32.767 ks.

Následující tabulky a grafy jsou použity pro definici úzkých míst výrobního systému. Je to skupina strojů 3050016 a stroj 3050026, protože vykazují největší procentuální využití během pracovních směn (obr.19).

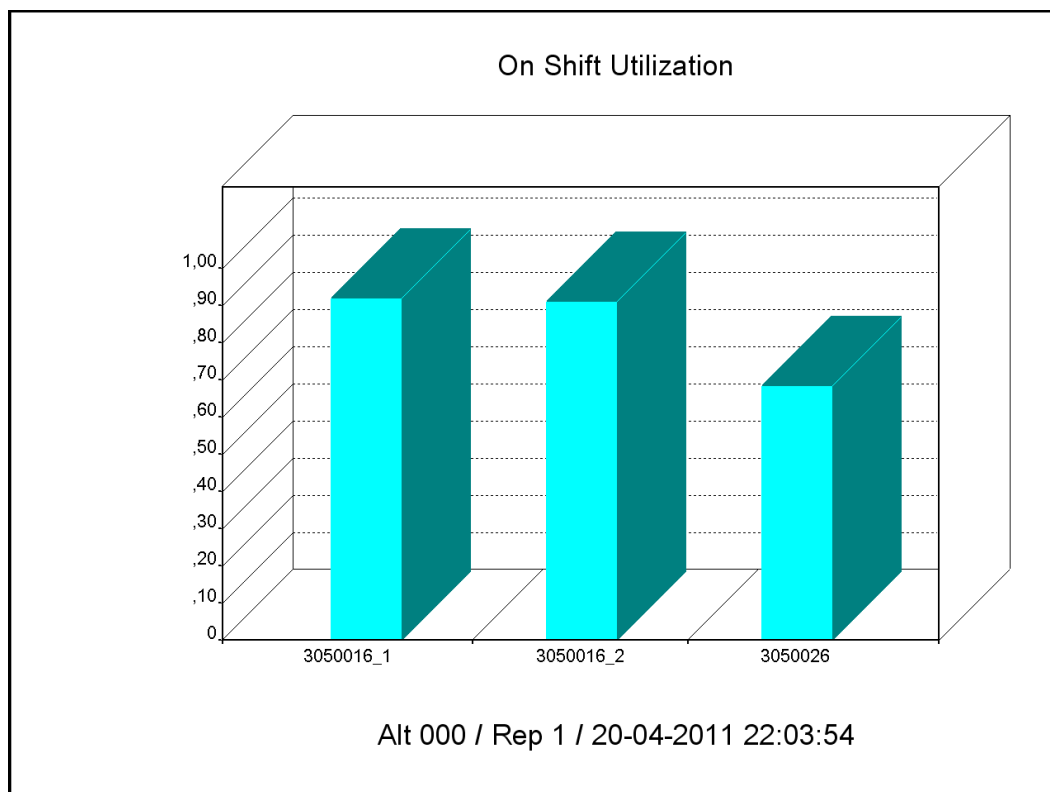
Reporter - Alternative 000 - [Resource Summary]												
File Edit Input Output Options Window Help												
Project: SYTELINE APS VIRTUAL PLANNING Project MEDIN_1 Completion Date: 20-04-2011 22:03:54												
Alternative: 000 - Replicate: 1												
Resource	-----Proportion-----		On Shift Busy	-----States-----							-----Queue-----	
	Scheduled On Shift	Overtime		Busy	Setup	Idle	Breakdown	Maintenance	Blocked	Off Shift	Average	Std Dev
0159010	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
0161010	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
0533000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
0537000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
1063010	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1063020	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1063110	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1086010	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
1094010	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000
1095010	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
1096010	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
1590100	0.239	0.000	0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.000	0.000
3050016_1	0.239	0.000	0.915	0.219	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.761	16.938	9.173
3050016_2	0.239	0.000	0.905	0.217	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.761	16.957	9.188
3050026	0.239	0.000	0.679	0.162	0.000	0.077	0.000	0.000	0.000	0.761	3.839	3.015
3050045_1	0.239	0.000	0.158	0.038	0.000	0.201	0.000	0.000	0.000	0.761	1.440	2.584
3050045_2	0.239	0.000	0.137	0.033	0.000	0.205	0.000	0.000	0.000	0.761	1.434	2.583
3081010	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000
3081020	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000
3082010	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000
3083010	0.479	0.000	0.000	0.000	0.000	0.479	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000
3084010	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5070200	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5330000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5370000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6010025	0.479	0.000	0.062	0.030	0.000	0.448	0.000	0.000	0.000	0.521	0.090	0.362
6014016	1.000	0.000	0.157	0.157	0.002	0.841	0.000	0.000	0.000	0.000	0.325	1.142
6020014	0.479	0.000	0.326	0.156	0.000	0.322	0.000	0.000	0.000	0.521	2.536	3.994
6020025	0.479	0.000	0.240	0.115	0.000	0.364	0.000	0.000	0.000	0.521	1.807	3.437
6022016	1.000	0.000	0.380	0.380	0.010	0.610	0.000	0.000	0.000	0.000	3.149	5.042
6022026	1.000	0.000	0.065	0.065	0.001	0.934	0.000	0.000	0.000	0.000	0.095	0.435
6024016	0.479	0.000	0.135	0.065	0.002	0.412	0.000	0.000	0.000	0.521	0.926	3.116
6059015	1.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.999	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7013016	1.000	0.000	0.234	0.234	0.001	0.765	0.000	0.000	0.000	0.000	1.512	2.797
7013127	1.000	0.000	0.327	0.327	0.003	0.670	0.000	0.000	0.000	0.000	23.067	36.694
7025015	0.239	0.000	0.209	0.050	0.001	0.188	0.000	0.000	0.000	0.761	0.533	1.423
7025035	1.000	0.000	0.237	0.237	0.023	0.740	0.000	0.000	0.000	0.000	0.502	1.298
7032034	0.239	0.000	0.001	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000	0.000	0.761	0.382	1.031
7051013_1	0.239	0.000	0.041	0.010	0.000	0.230	0.000	0.000	0.000	0.761	0.525	1.504
7051013_2	0.239	0.000	0.022	0.005	0.000	0.234	0.000	0.000	0.000	0.761	0.525	1.504
7054014	1.000	0.000	0.057	0.057	0.000	0.943	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022

Obr.19: Tabulka - úzká místa (zdroj: vlastní)

Obrázek 20 a obrázek 21 uvádí grafickou prezentaci vytíženosti úzkých míst během pracovních směn, z čehož vyplývá vysoké využití dvou strojů ze skupiny strojů 3050016.

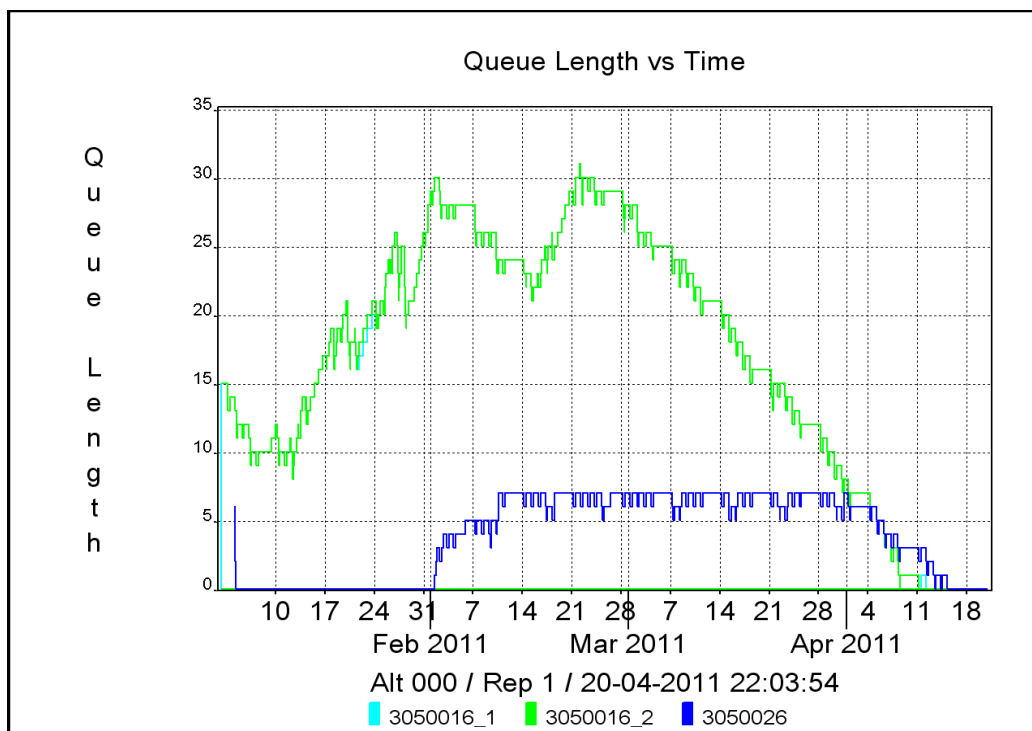


Obr.20: Grafická prezentace vytíženosti zdrojů (zdroj: vlastní)



Obr.21: Definice úzkých míst – vytíženost směn (zdroj: vlastní)

Další efektivnější způsob pro určování úzkých míst spočívá v analýze délky front výrobních dávek u zdrojů. Obrázek 22 znázorňuje délku front u skupiny strojů 3050016 a stroje 3050026. Z tohoto důvodu je při optimalizaci výroby pozornost orientována na tyto skupiny.

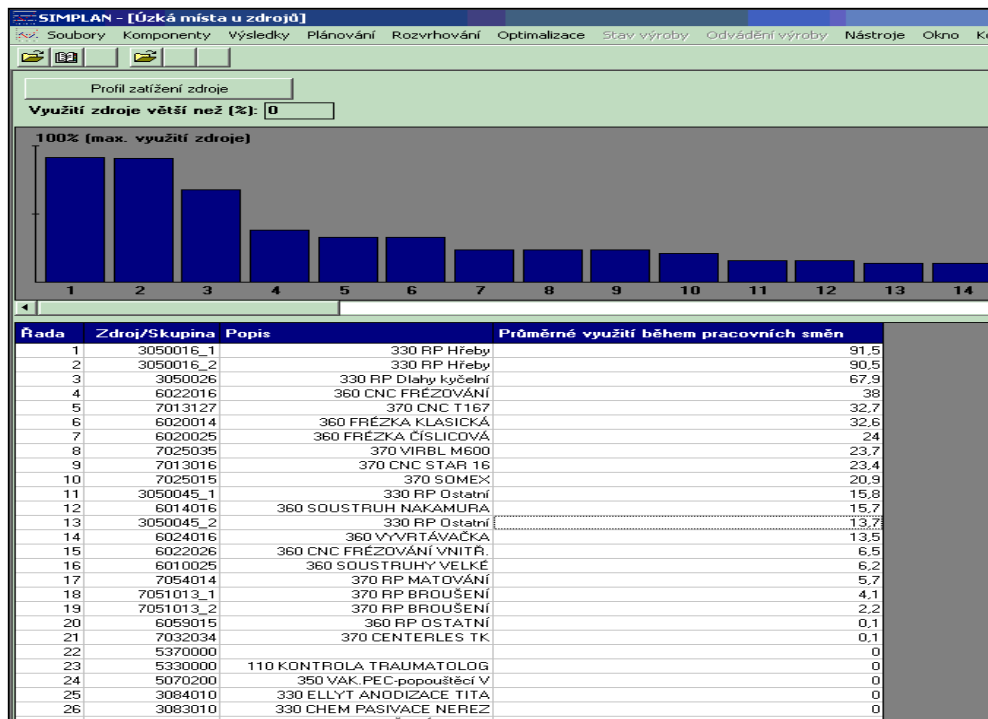


Obr.22: Délka fronty v čase (zdroj: vlastní)

3.1.5.2 Analýza simulačního modelu za použití Simplanu

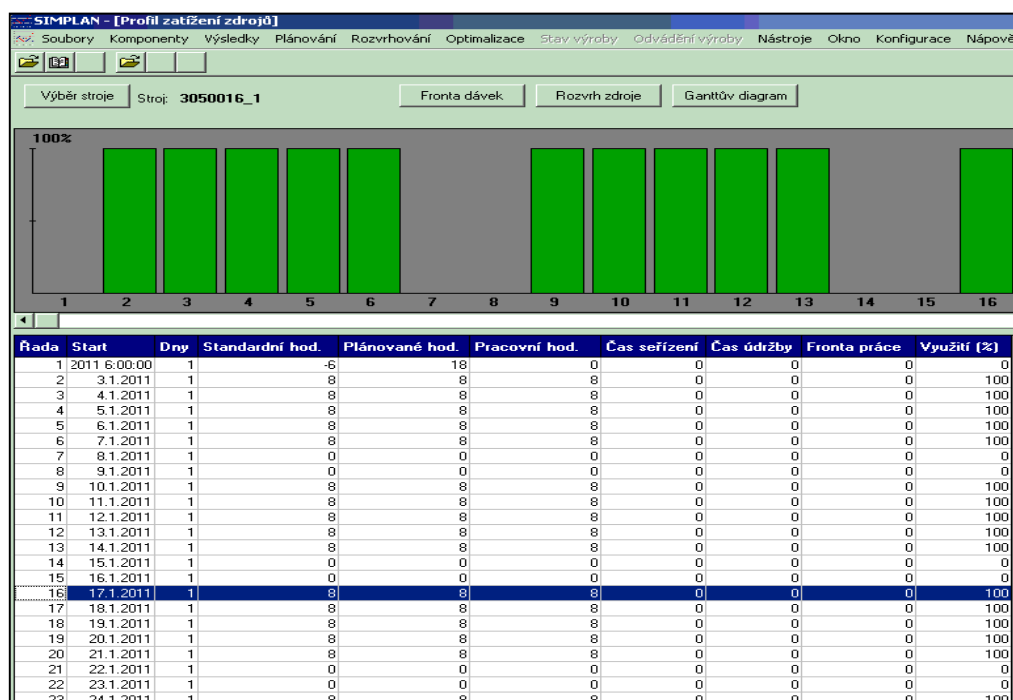
Pro validaci výsledků je použit zároveň i další analytický nástroj Simplan.

- Využití zdrojů – zdroje jsou uspořádány podle procentuálního využití, což potvrzuje vysoké zatížení skupiny zdrojů 3050016 (obr.23).



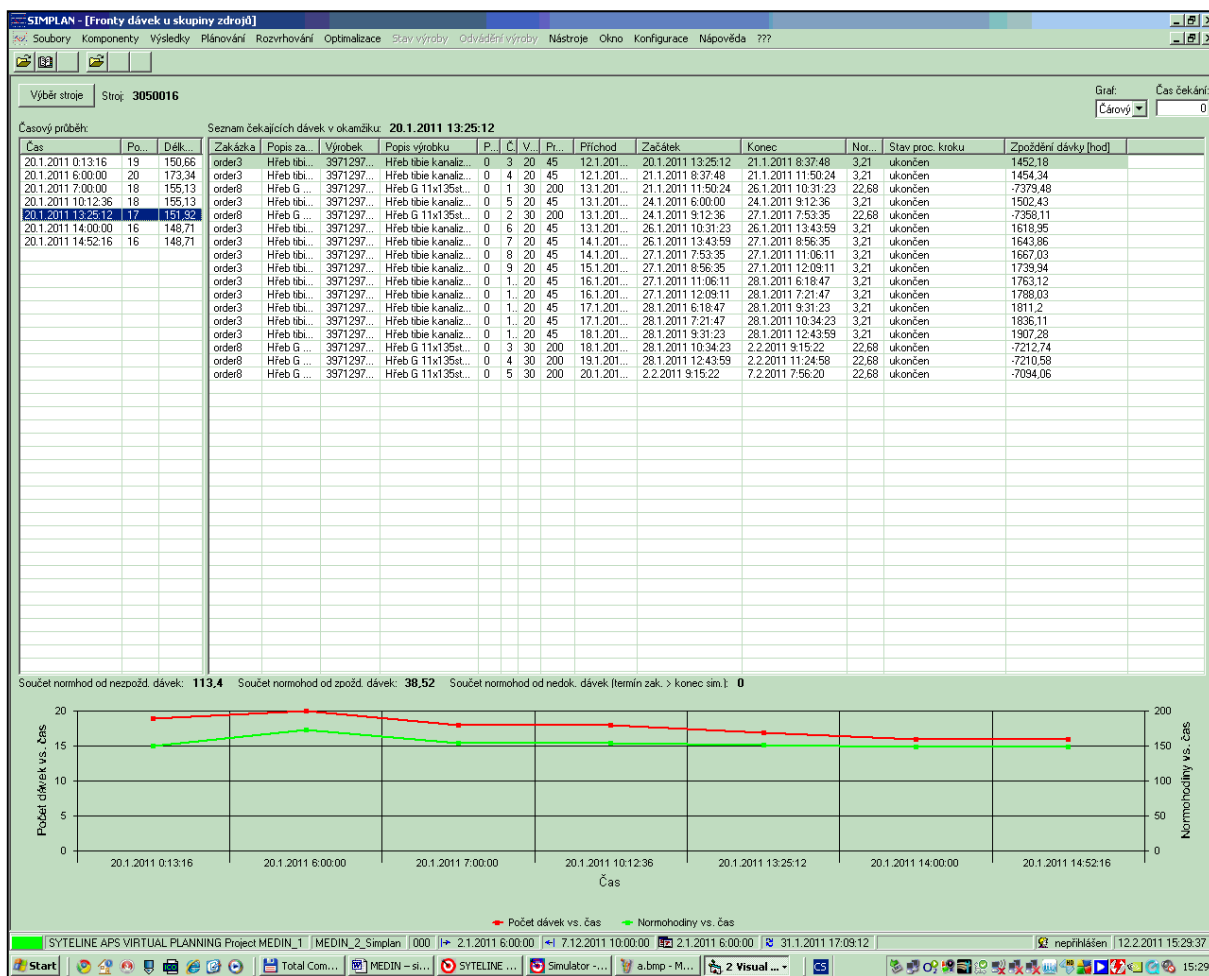
Obr.23: Využití zdrojů (zdroj: vlastní)

- Profil zatížení zdrojů 3050016_1 – pokud samostatně analyzujeme využití tohoto zdroje, zjišťujeme že je využit maximálně (obr.24).



Obr.24: Zatížení zdrojů 3050016_1 (zdroj: vlastní)

- Fronta dávek u skupiny zdrojů 3050016 – obr. 25 ukazuje seznam čekajících dávek v určitém časovém okamžiku před úzkým místem.



Obr.25: Fronta dávek u skupiny zdrojů 3050016 (zdroj: vlastní)

3.1.6 Návrh řešení na odstranění úzkých míst výroby bez navyšování investičních nákladů a zhodnocení alternativ

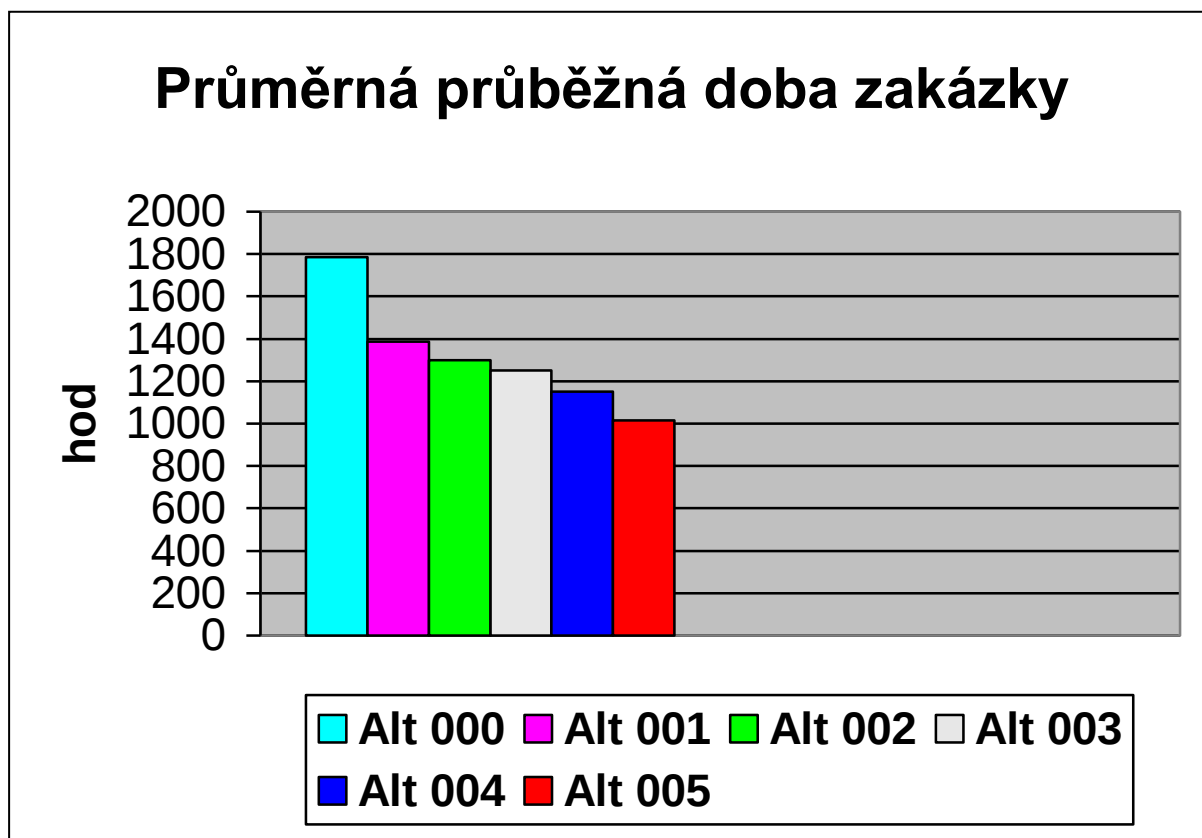
Tato řešení vyplývají z požadavku zvyšovat kapacitu klíčových zdrojů tím, že se zvyšuje jen směnnost, nikoliv počet zdrojů. Klíčové zdroje jsou určovány v první řadě na základě analýzy procentuálního vytížení zdrojů a na základě analýzy ganttových diagramů zdrojů. Na základě toho jsou vygenerovány a porovnávány alternativy 0 až 5. Nejlepší výrobnost vykazuje alternativa 3 (19.356 ks/hod), přičemž ale dochází ke snížení využití klíčového zdroje 3050016.

U alternativy č.3 je dosažen nejkratší simulační čas na zpracování všech dávek a největší výrobnost [ks/hod] (Production rate). Zvyšování kapacity je prováděno v celých směnech na základě požadavku managementu podniku.

	Základní alternativa (0)	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Popis alternativy	Základní alternativa (počáteční stav)	+ druhá směna pro 3050016	+ směna2 pro 3050026	+ směna2 a 3 pro 3050026 a +směna3 pro 6020025	mix dávek	mix+ směna2 pro 3050016 + směna2 pro 3050026
Celkový počet vyrobených výrobků [ks]	38520	38520	38520	38520	38520	38520
Výrobnost [ks/hod] (Production rate)	14.77	14.77	17.849	19.356	15.618	18.461
Průměrná průběžná doba zakázky [hod]	1784.964	1385.717	1297.717	1249.315	1152.433	1014.268
Průměrný počet čekajících dávek [ks]	96.682	83.932	98.679	103.29	96.486	95.445
Průměrný počet dávek na zdrojích [ks]	32.767	32.767	39.600	42.943	34.844	41.183
Využití 3050016 [%]	91	45.5	54.6	59.15	95.9	57.25
Využití 3050026 [%]	67.9	67.9	40.7	74.7	71.6	42.7
Využití 6020025 [%]	24	24	28.8	20.1	25.3	30.2
Simulační čas [hod]	2608.065	2608.065	2158.089	1990.089	2465.8	2086.022

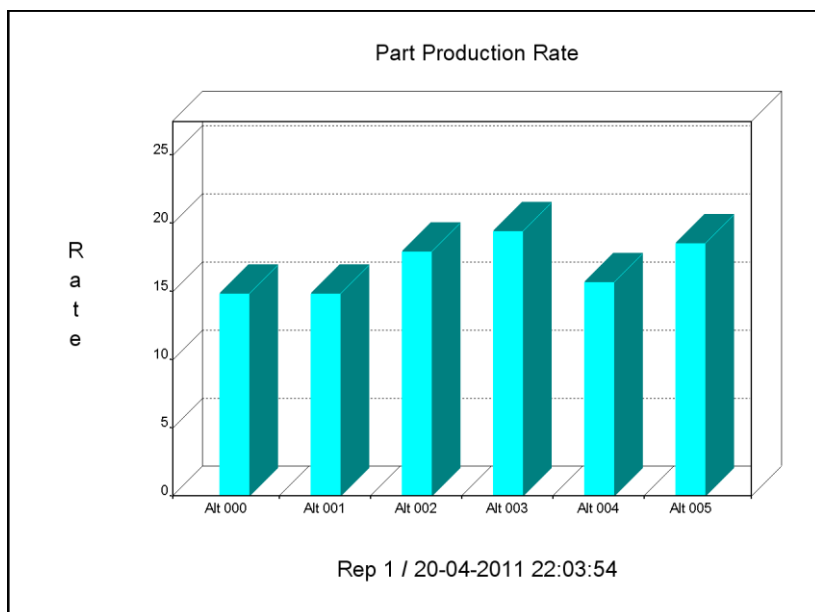
Tab.4: Alternativy řešení (zdroj: vlastní)

Průměrná průběžná doba zakázky určuje čas, který zakázka stráví ve výrobním systému. Je tedy žádoucí, aby byl tento čas co nejkratší. Nejkratšího času je dosaženo u alternativy 5, ovšem hlavním cílem je zvyšování výrobnosti. Proto je postačující fakt, že došlo ke snížení průměrné průběžné doby zakázky oproti počátečnímu stavu.



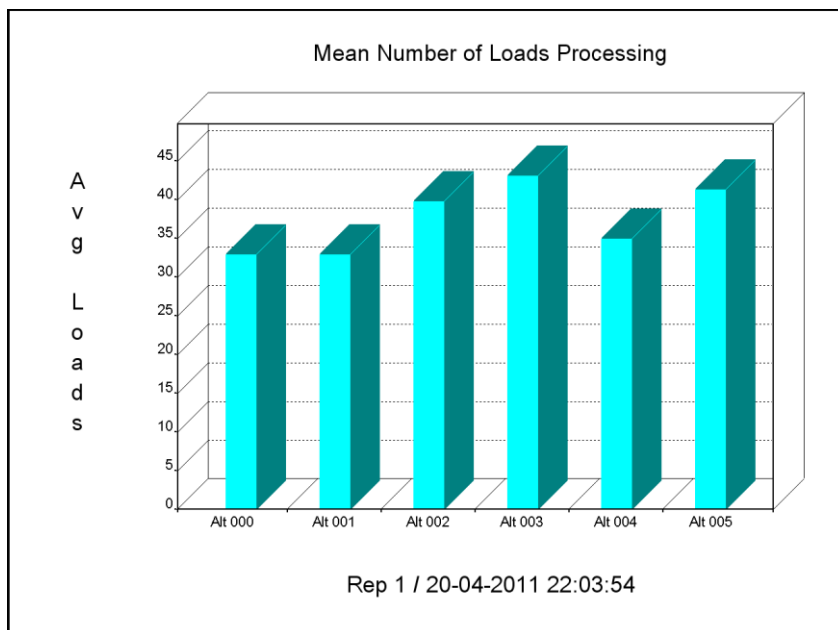
Obr.26: Průměrná průběžná doba zakázky (zdroj: vlastní)

Obr.27 zobrazuje výrobnost, kterou vykazují jednotlivé alternativy. Výrobnost je hlavním sledovaným cílem, proto je důležité, aby byla její hodnota co nejvyšší. Jak je vidět z následujícího grafu, nejvyšší výrobnost oproti počátečnímu stavu (14,77 ks/hod) vykazuje alternativa č. 3 a to 19,358 ks/hod.



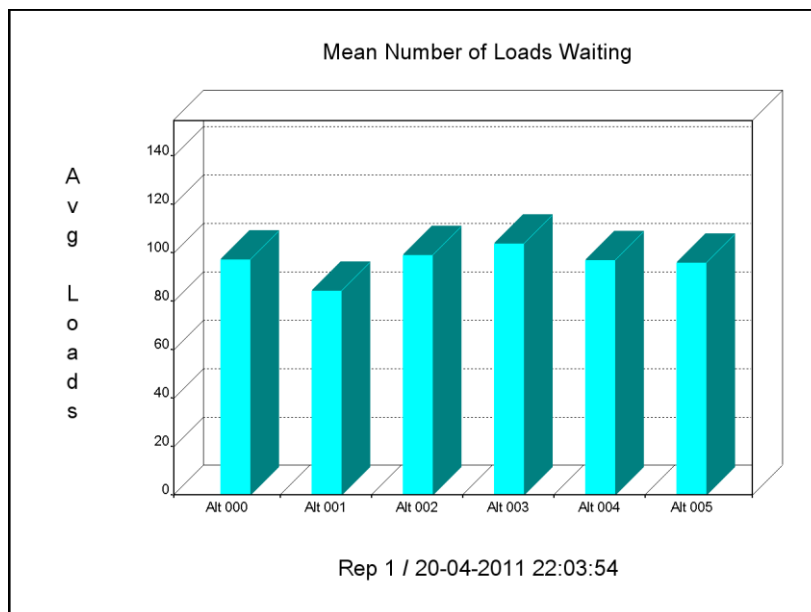
Obr.27: Výrobnost výrobního systému (zdroj: vlastní)

Obr.28 znázorňuje průměrný počet dávek v procesu, ten úzce souvisí s výrobností. Dle obrázku 27 má varianta č.3 nejvyšší výrobnost, z toho vyplývá, že zpracovává i největší průměrný počet dávek (42,943), což je asi o 10 dávek více, než je zpracováno u počátečního stavu.



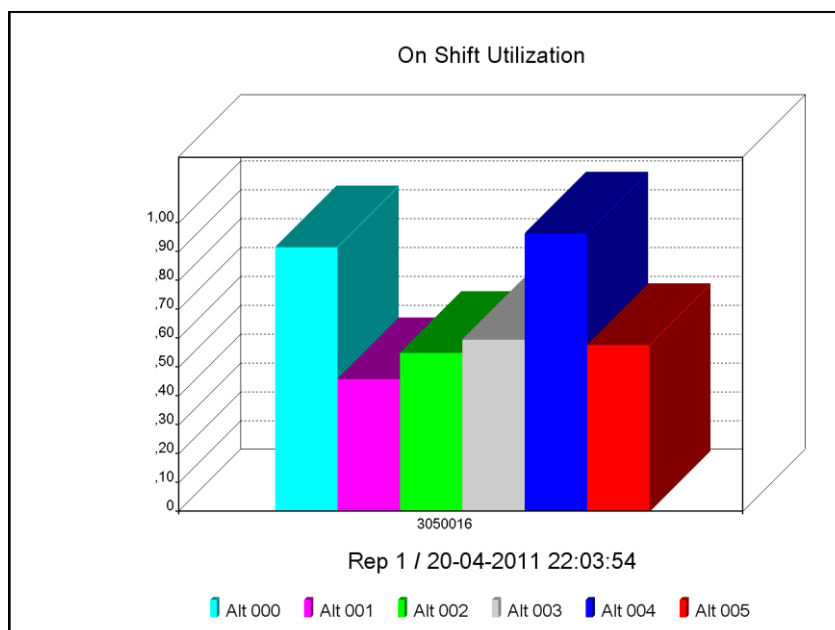
Obr.28: Průměrný počet dávek v procesu (zdroj: vlastní)

Na obrázku 29 je patrné, že došlo k navýšení dávek čekajících na zpracování u Alt003, protože se zvýšila dynamika procesů a délky front.

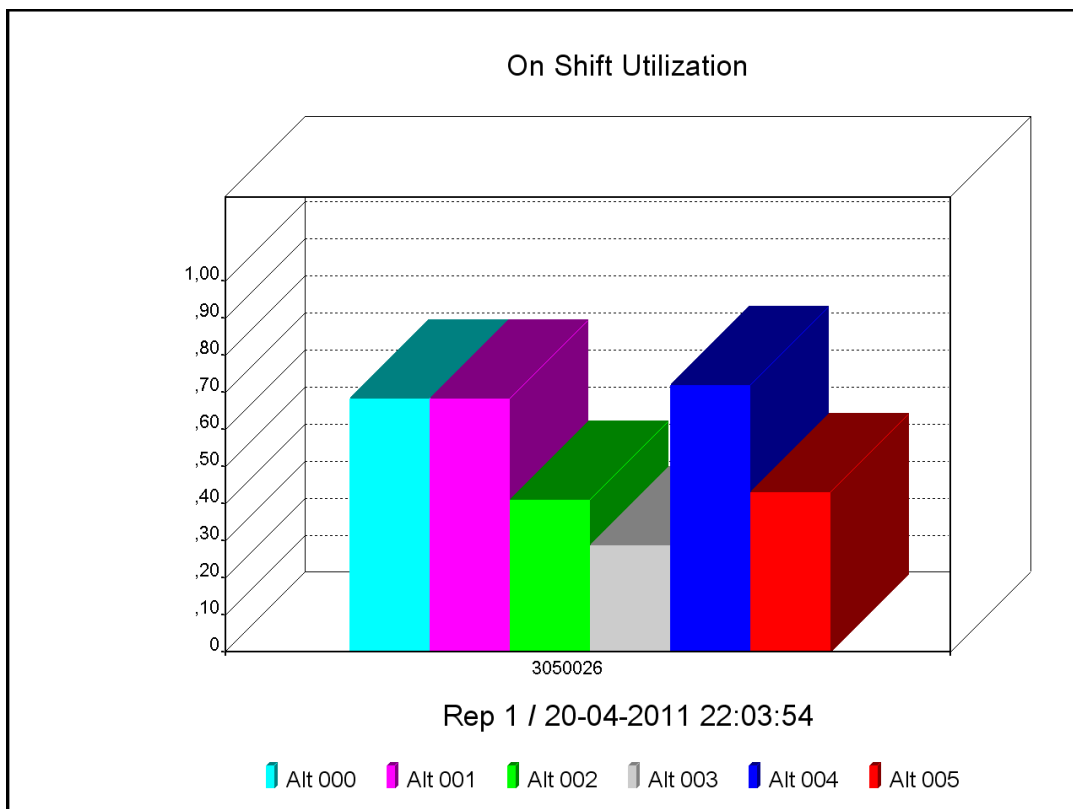


Obr.29: Počet dávek čekajících na zpracování (zdroj: vlastní)

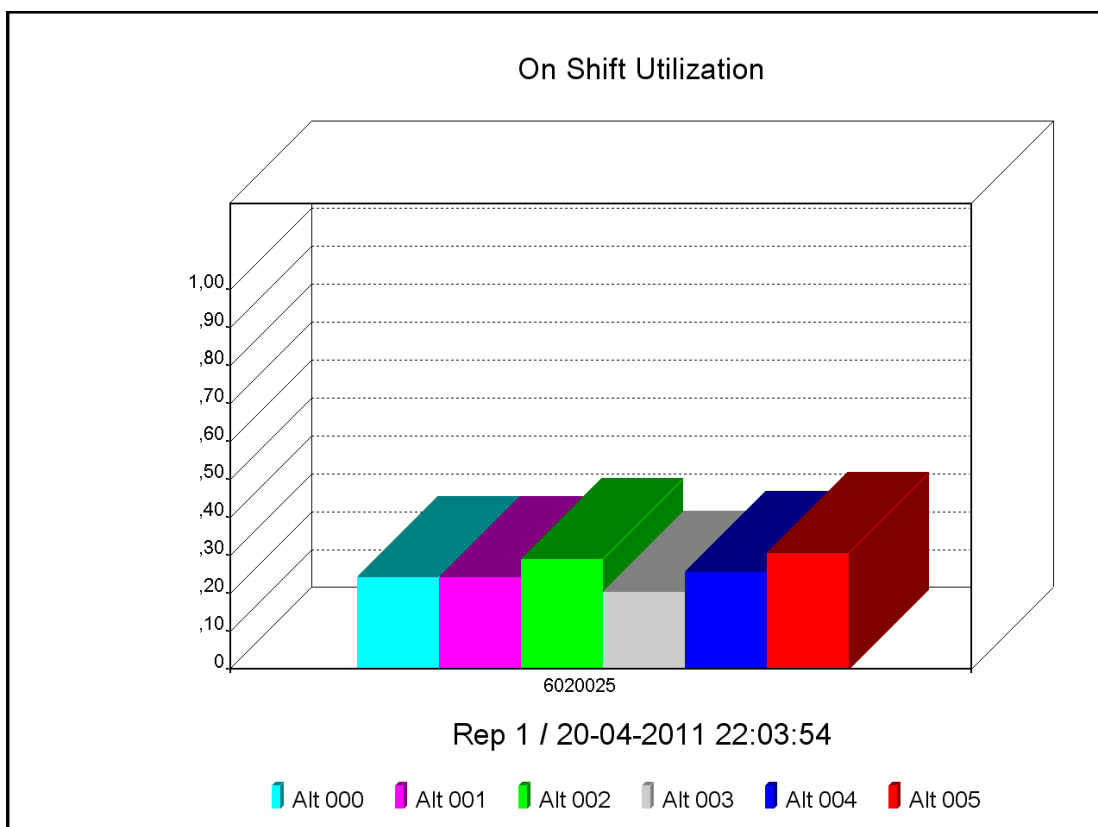
Na obrázku č.30, č.31 a č.32 je znázorněno procento využití jednotlivých vybraných zdrojů, které byly objektem optimalizace. Vzhledem k tomu, že je cílem zvýšení výrobnosti, může se stát, že vytížení zdrojů není maximální. V případě zdrojů 3050016, 3050026 a 6020025 dochází k nižšímu procentuálnímu využití. Toto je ovšem jen statistický údaj, vznikající tím, že počet odsimulovaných výrobních příkazů je omezen.



Obr.30: Procentuelní využití zdroje 3050016 (zdroj: vlastní)

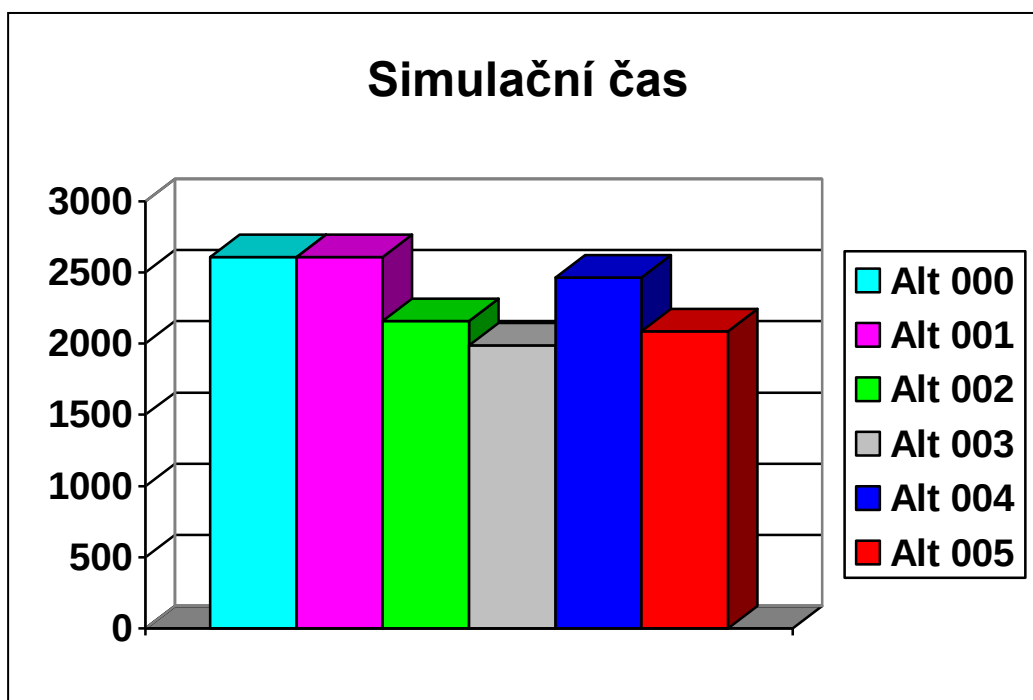


Obr.31: Procentuelní využití zdroje 3050026 (zdroj: vlastní)



Obr.32: Procentuelní využití zdroje 6020025 (zdroj: vlastní)

Simulační čas udává dobu, za kterou jsou zpracovány všechny zakázky (Makespan). Snahou je dosáhnout co nejkratšího simulačního času. Zde je alternativa 3 opět nejlepším řešením, jelikož její simulační čas je nejnižší, a to 1990.089 hod. Došlo tedy k úspoře času oproti počátečnímu stavu téměř 618 hodin.



Obr.33: Simulační čas jednotlivých alternativ v hodinách (zdroj: vlastní)

Pořadí zakázek u alternativ 0 až 3 má náhodný charakter, protože její priority a termín dokončení jsou stejné. I když jsou zakázky (výrobní příkazy) rozděleny na dávky, jejich zpracování je spojitě (zpracují se všechny dávky jednoho výrobního příkazu po sobě), protože je použito pravidlo pro řízení dávek FIFO.

Aby se zohlednil vliv pořadí vstupu zakázek do výroby, jsou rozpracovány alternativy 4 a 5. Jelikož nejsou známy termíny zakázek ani jejich priority, je zvolena definice zakázek podle modelovací komponenty „Demand“, kde vstup první dávky je o čas „First Release Time“ posunut od předcházející zakázky, a mezi dávkami je nastavena časová mezera „Interarrival Time“. Z výsledků pro alternativy 4 a 5 je zřejmý vliv pořadí dávek na výstupy ze simulačního modelu.

Demand Editor

Name: Desc:

Number of Parts to Release:
 Expr:

Number of Parts Per Load:
 Expr:

First Release Time
 Expr:

Interarrival Time
 Expr:

Part:

OK Cancel Details... Cost... Help

Obr.34: Modelovací komponenta Demand (zdroj: vlastní)

3.1.7 Návrh řešení na odstranění úzkých míst výroby s navyšováním investičních nákladů (M_5) a zhodnocení alternativ

U simulačního modelu M_5 se nemění konfigurace výroby, ale postupně se navyšují kapacity přidáním pracovních směn a potom i přidáním zdrojů. Navyšování kapacit se provádí podle vzniku úzkých míst ve výrobě. Cílem je zvyšování propustnosti výroby „Production Rate“. Alternativa 001 modeluje počáteční stav a zahrnuje následující zdroje:

Zdroj	Popis zdroje	Počet	Směnnost
3050016	330 RP Hřeby	4	1
3050026	330 RP Dlahy kyčelní	2	1
3050045	330 RP Ostatní	3	1
6020014	360 FRÉZKA KLASICKÁ	2	2
7013127	370 CNC T167	1	3
6022016	360 CNC FRÉZOVÁNÍ	1	3
7025015	370 SOMEX	1	1
7025035	370 VIRBL M600	1	3
7032034	370 CENTERLES TK	1	1
6020025	360 FRÉZKA ČÍSLICOVÁ	1	2
7013016	370 CNC STAR 16	1	3
7051013	370 RP BROUŠENÍ	1	1

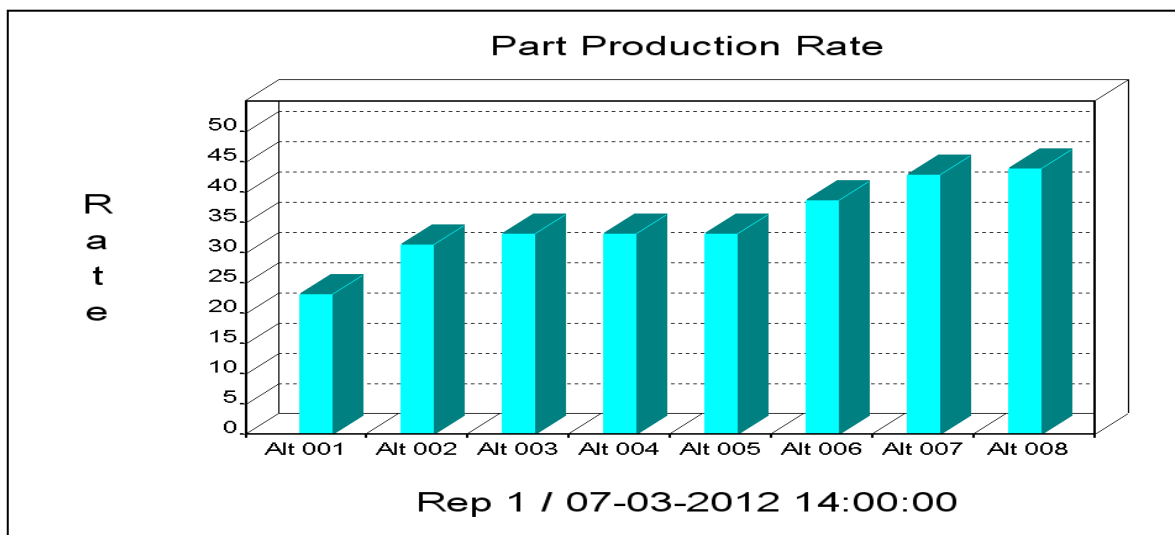
Tab.5: Zdroje alternativy 001 (zdroj: vlastní)

V průběhu optimalizace výroby za účelem odstranění úzkých míst a zvyšování výrobnosti jsou rozpracovány následující varianty:

Alt	Production Rate [ks/hod]	% zlepšení oproti Alt001	Změna/Investiční náklady na změny v milionech korun	Celkové, investiční náklady na změny v milionech korun
001	22.995	100	3050016 - 4 prac.	
002	31.085	135.18	3050016 - 4 prac. 3050026 - 10 prac.	
003	32.982	143.43	3050016 - 10 prac. 3050026 - 10 prac.	
004	32.982	143.43	3050016 - 10 prac. 3050026 - 10 prac. 3050045 - 10 prac.	
005	32.923	143.18	Alt004 + 6020014_1 - 3 směny	
006	38.442	167.18	Alt004 + 6020014_1 - 3 směny 6020014-2stroje – 2 500 000 Kč 7013127-2 stroje – 5 000 000 Kč	7 500 000 Kč
007	42.648	185.47	Alt006+ 6022016-2 stroje – 3 000 000Kč 7025015-2 směny 7025035-2 stroje – 2 000 000Kč 7032034-2 směny	12 500 000 Kč
008	43.710	190.09	Alt007+ 6022016-3 stroje – 3 000 000 Kč 7025015-3 směny 6020025-3 směny 7013016-2 stroje – 4 500 000 Kč 7051013-2 stroje – 2 000 000 Kč	22 000 000 Kč

Tab.6: Všechny alternativy, jejich výrobnost a investiční náklady (zdroj: vlastní)

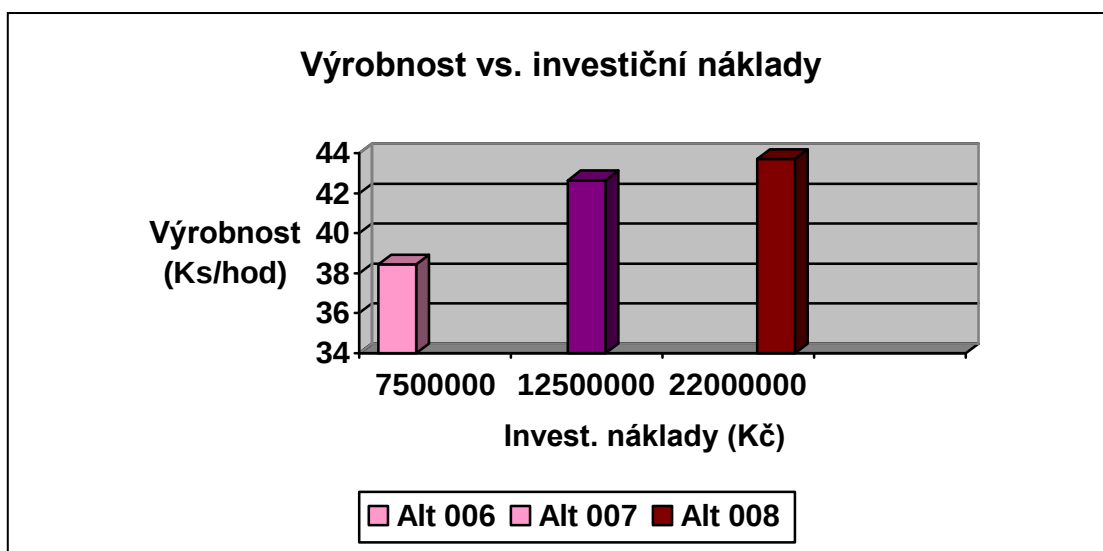
Obr.35 ukazuje zvýšení výrobnosti zavedením dalších změn. U alternativy číslo 8 došlo ke zvýšení výrobnosti o 90% oproti počáteční alternativě, tzn. že se vyprodukuje téměř dvakrát více výrobků.



Obr.35: Výrobnost systému – rozšíření variant (zdroj: vlastní)

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

Na obrázku 36 je znázorněn vývoj investičních nákladů u jednotlivých variant vzhledem k hodinové výrobě. Tato informace slouží jako podklad pro management podniku ohledně budoucích investic. Manažeři zpracovávají forecasting poptávky a podle níže uvedeného grafu mohou určit, jaké investiční náklady budou potřebovat pro zajištění předpokládané výroby.



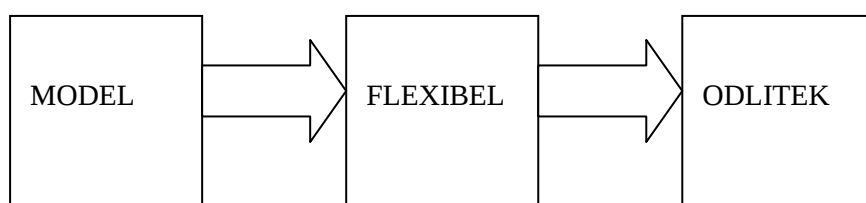
Obr.36: Vývoj investičních nákladů u jednotlivých alternativ

3.2 Řízení průběhu výrobních příkazů ve společnosti B - slévárna, a.s. (Simulační model)

Tato kapitola zahrnuje popis vývoje simulačního modelu. Obsahuje konceptuální model, abstraktní model, popis tvorby simulačního modelu a analýzu jeho výstupů včetně některých vygenerovaných Ganttových diagramů.

3.2.1 Úvod do problematiky

Simulační model slévárny je podmnožina celkového simulačního modelu výrobního systému VFB (VFB je divize firmy B). Ve slévárně se vyrábí odlitek, který se dále zpracovává ve výrobním systému VFB. Výrobě odlitku předchází výroba modelu z umělého dřeva a tzv. „flexibelu“. Zobecněný postup a návaznost modelu, flexibel a odlitku zobrazuje konceptuální model níže.



Obr.37: Konceptuální model systému (zdroj: vlastní)

3.2.2 Popis abstraktního modelu

Blokový diagram výroby ve slévárně je vypracován na základě podkladů získaných z informačního systému SAP, který je instalován ve VFB. Podklady jsou rozděleny do dvou skupin: kusovníky a technologické postupy.

Technologické postupy obsahují následující informace

Číslo operace	Pracoviště	Text operace	Délka trvání operace

Tab.7: Struktura položky technologického postupu (zdroj: vlastní)

Kusovníky obsahují následující informace

Položka	Číslo materiálu	Popis	Množství	Měrná jednotka

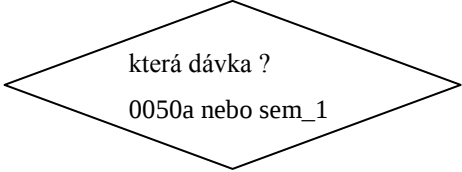
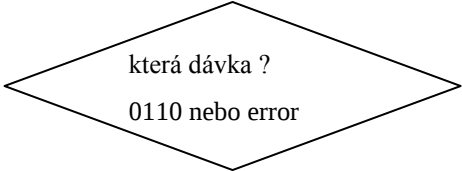
Tab.8: Struktura položky kusovníku (zdroj: vlastní)

Blokový diagram výroby odlitku	
0010	Vkládání lamel
0020	Lití jader
0030	Kontroluje jádra laserem
0040	Kontroluje odlitá jádra
0050	Opracování jader
0060	Kontroluje začištěná jádra
0080	Suší jádra "První sušení"
0090	Výroba pískové formy
0100	Výroba celokruhu
0120	Kontroluje jádra sestavená do kruhu
0130	Suší jádra "Druhé sušení"
0140	Suší jádra "Třetí sušení"
0160	Kontroluje celokruh před odléváním
0170	Metalurgie
0180	Apretace
0190	Čistí tlakovou vodou
0200	Řeže nálitky
0250	Kontroluje odlitek

Tab.9: Blokový diagram znázorňující výrobní postup odlitku (zdroj: vlastní)

Blokový diagram výroby flexibelu	
0010	Příprava sestavy k odlití flexibelu
0020	Dokončení flexibelu
0030	Zhotoví kontrolní otisk – První forma

Tab.10: Blokový diagram znázorňující výrobní postup flexibelu (zdroj: vlastní)

Blokový diagram výroby modelu	
0010	Výroba základny polotovaru
0010_a	Rozdělí na dávky
0010_30	Frézuje základnu s upínacím křížem
0020	Výroba základního tvaru polotovaru
vyber_1	
sem_1	semafor05 != 2
0050	Frézuje modely
vyber_2	
0080	Kontroluje zkoušku modelu
0100	Kontroluje test. modelu opak. dezénu
0110	Měří model
0120	Dokončí model
0150	Kontroluje lamely
0160	Zhotoví kontrolní otisky
0170	Vkládá lamely
0050a	Frézuje modely - 50% času
0080a	Kontroluje zkoušku modelu
0050b	Frézuje modely - 50% času

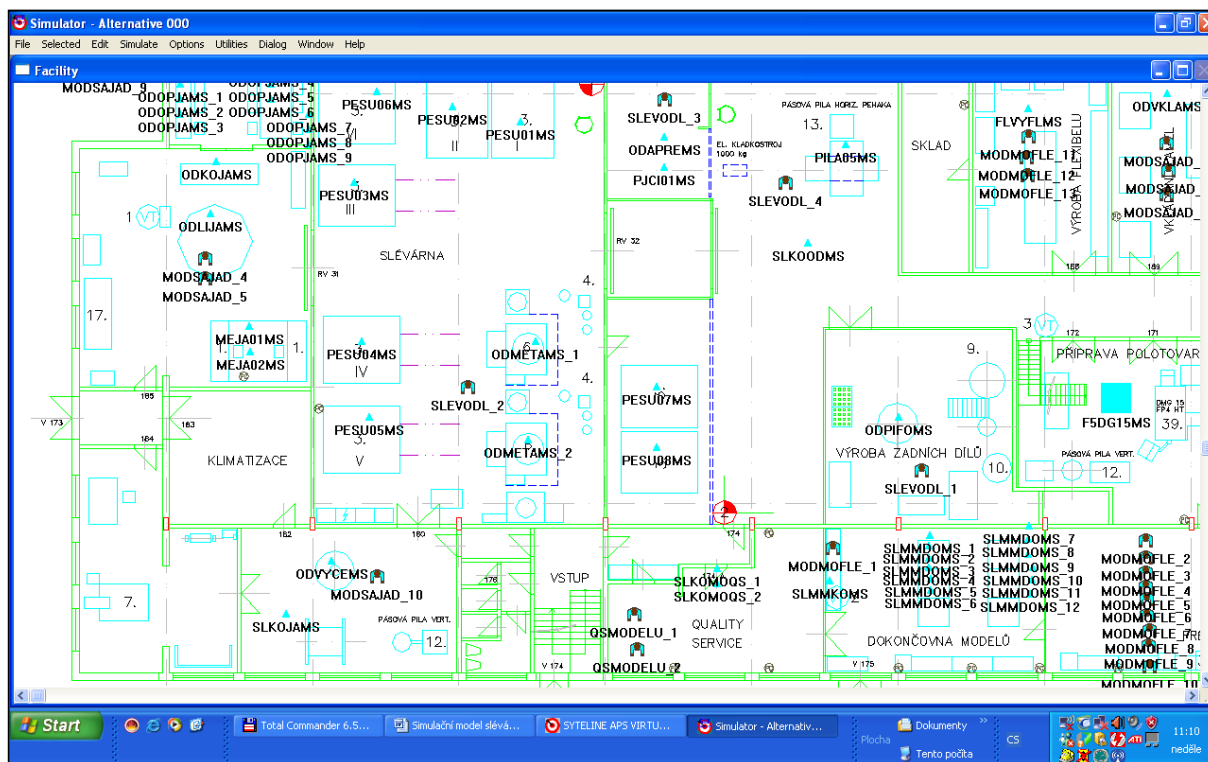
Tab.11: Blokový diagram znázorňující výrobní postup modelu (zdroj: vlastní)

3.2.3 Algoritmus pro popis výroby odlitku

Rozhodovací bloky „vyber_1“ a „vyber_2“ jsou vloženy, aby se zajistilo, že po rozdělení modelu na segmenty se nejprve částečně (50% času) ofrézuje vybraný segment, pak se tento segment zkontroluje a potom se frézuje zbytek. Ostatní segmenty ale musí vynechat krok 0080 a 0100 a pokračují krokem 0110.

3.2.4 Popis simulačního modelu

Layout simulačního modelu je převzat z layoutu projekčního oddělení firmy VFB (VFB je divize firmy B) a je zpracovaný v Autocadu (Obr.č.38). Layout zobrazuje rozmístění strojů a zařízení v reálném provozu a nebo rozmístění v případě navrhovaných změn výroby.



Obr.38: Část simulačního modelu (zdroj: vlastní)

Pro výstavbu simulačního modelu výrobního systému VFB jsem použila následující komponenty:

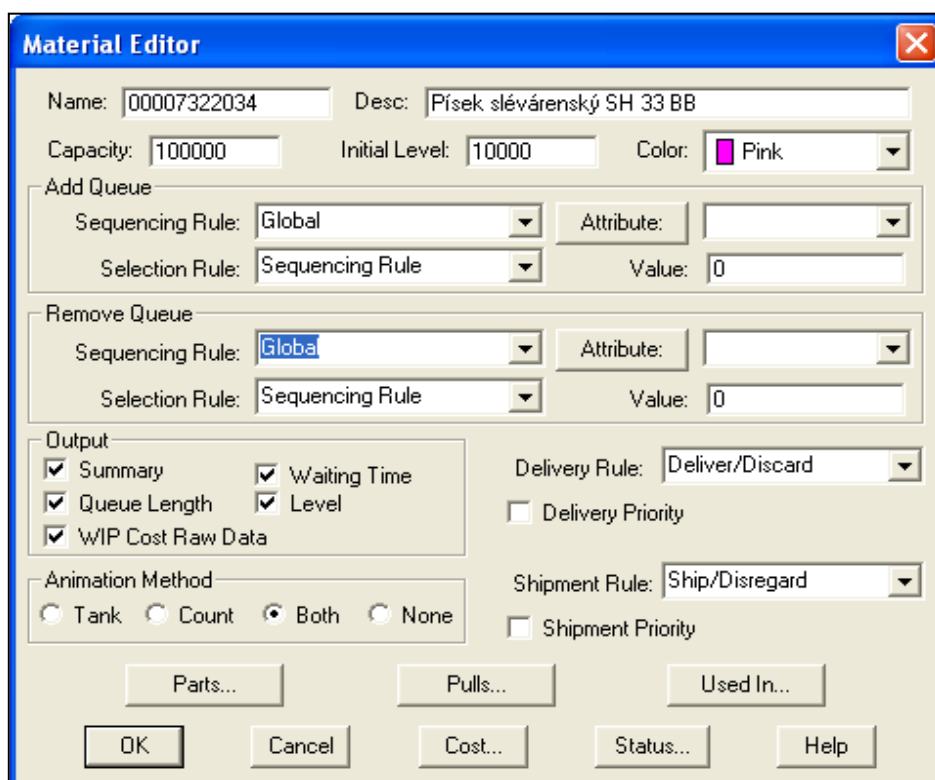
- RESOURCE – pomocí této komponenty jsou modelovány všechny zdroje ve výrobě (obr.č.39). Jsou to:
 - stroje, například MS Frézka F4 CNC
 - operátoři, například MODMOFLE_5
 - řídicí zdroje, například SEMAFOR_050

Obr.39: Formulář sloužící k modelování zdrojů (zdroj: vlastní)

- RESOURCE GROUP (Skupiny zdrojů) – zdroje jsou sdružovány do skupiny podle toho, jak jsou používány v technologickém postupu, například skupina F5FI00MS obsahuje 6 zdrojů (Obr.č.40):

Obr.40: Formulář sloužící k modelování skupin zdrojů (zdroj: vlastní)

- MATERIAL – do tohoto komponentu jsou zahrnuty jak vstupní materiály, tak i meziprodukty. Například materiálová položka 202704_00330000532 je vstupní materiál pro položku 202704_00330000562. Toto rozdělení je dáno formátem dat získávaných ze SAPu (Obr.č.41). Příklad vstupního materiálu:



Material Editor

Name: 00007322034 Desc: Písek slévárenský SH 33 BB

Capacity: 100000 Initial Level: 10000 Color: Pink

Add Queue

Sequencing Rule: Global Attribute: Value: 0

Selection Rule: Sequencing Rule Value: 0

Remove Queue

Sequencing Rule: Global Attribute: Value: 0

Selection Rule: Sequencing Rule Value: 0

Output

☒ Summary ☒ Waiting Time ☐ Delivery Priority

☒ Queue Length ☒ Level ☐ Delivery Priority

☒ WIP Cost Raw Data

Animation Method

☐ Tank ☐ Count ☒ Both ☐ None

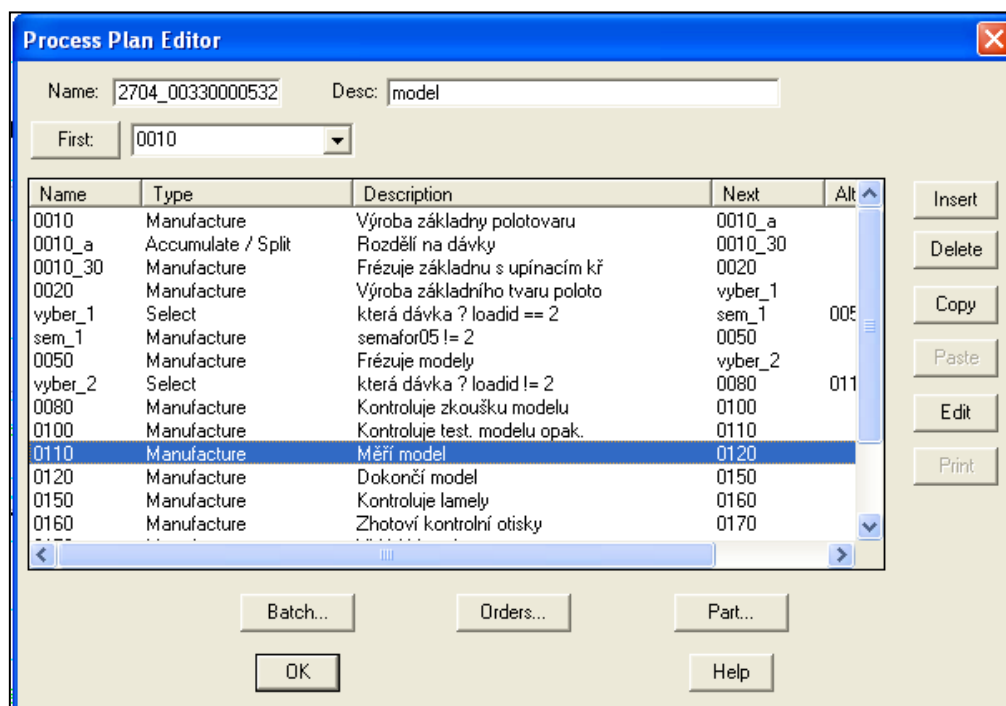
Delivery Rule: Deliver/Discard

Shipment Rule: Ship/Disregard

Buttons: Parts... Pulls... Used In... OK Cancel Cost... Status... Help

Obr.41: Formulář sloužící k modelování materiálů (zdroj: vlastní)

- PROCESS PLAN – tento komponent je komplexní a zahrnuje v sobě technologický postup, kusovníky, algoritmy řízení hmotného toku apod. Následující obrázek zobrazuje „process plan“ pro výrobek „model“ (Obr.č.42):



Process Plan Editor

Name: 2704_00330000532 Desc: model

First: 0010

Name	Type	Description	Next	Alt
0010	Manufacture	Výroba základny polotovaru	0010_a	
0010_a	Accumulate / Split	Rozdělí na dávky	0010_30	
0010_30	Manufacture	Frézuje základnu s upínacím kř	0020	
0020	Manufacture	Výroba základního tvaru poloto	vyber_1	
vyber_1	Select	která dávka ? loadid == 2	sem_1	005
sem_1	Manufacture	semafor05 != 2	0050	
0050	Manufacture	Frézuje modely	vyber_2	
vyber_2	Select	která dávka ? loadid != 2	0080	011
0080	Manufacture	Kontroluje zkoušku modelu	0100	
0100	Manufacture	Kontroluje test. modelu opak.	0110	
0110	Manufacture	Měří model	0120	
0120	Manufacture	Dokončí model	0150	
0150	Manufacture	Kontroluje lamely	0160	
0160	Manufacture	Zhotoví kontrolní otisky	0170	

Buttons: Batch... Orders... Part... OK Help

Obr.42: Formulář sloužící k modelování procesních plánů - zde pro odlitek (zdroj: vlastní)

- PART – výrobek (Obr.č.43). Například „202704_00330000562“:

Part Editor

Name: 02704_00330000562 Desc: flex

Process Plan: [] Lookup Table: []

Starting Material: [] Final Material: []

Family: [] Subfamily: []

Output

☒ Part Summary ☒ Part Performance ☒ Load Costs

Attributes... Orders...

OK Cancel Icon... Cost... Status... Help

Obr.43: Formulář sloužící k modelování výrobků (zdroj: vlastní)

- ORDER – zakázka (Obr.č.44), například 202704_00330000532_1:

Order Editor

Name: 4_00330000532_1 Desc: []

Parts to Release: 9 Priority: 0 Part: 202704_0033000

Parts Per Load: 9 Process Plan: 202704_0033000

Type

☒ New ☐ In-process ☐ Unconfirmed ☐ Explicit-release ☐ Demand ☐ Pull

Release

Date: 04.11.2008 Time: 00:00:00

Excess

☒ Add ☐ New ☐ Whole

Due

Date: 04.11.2008 Time: 10:00:00

Output

☒ Order Perf. ☒ Load Perf.

OK Cancel Cost... Status... Help

Obr.44: Formulář sloužící k modelování zakázek (zdroj: vlastní)

- LOOKUP TABLE – vyhledávací tabulka (Obr.č.45). Některé procesní časy jsou uloženy do tabulky, protože vyhledání hodnot je parametrické, např. procesní čas závisí na čísle segmentu:

	1	2	3	4	5
00532 1	481	465	489	654	556
00532 2	223	216	227	303	258
00532 3	37	36	38	50	43

Obr.45 Formulář sloužící k modelování vyhledávacích tabulek (zdroj: vlastní)

- JOBSTEP – procesní krok (Obr.č.46). Procesní kroky vytvářejí procesní plán. Například procesní krok pro výrobu základní polotovaru:

Name: 0010 Desc: Výroba základny polotovaru Next: 0010_a

Process Plan: 202704_0033000053 Previous Jobstep...

Resource/Pool/Group

Name: --NEW-- Units: Action:

F5DG15MS 1 Allocate / Free

Operation Time

Expr: (18+45/9)/60 Rule: Total Jobstep Time

Setup

Resource: Required: Table: Rule: Basis Basis: Part

Setup Time

Expr: 0.0 Rule: Fixed Setup Time

Move - Cool Time

Move Expr: 0.0 Cool Expr: 0.0

OK Cancel Materials... More... Help

Obr.46: Formulář sloužící k modelování procesního kroku (zdroj: vlastní)

3.2.5 Analýza výstupů ze simulačního modelu

Výstupy lze rozdělit do 3 skupin:

- Ganttovy diagramy
- Grafické výstupy
- Textové výstupy

Vzhledem k velkému rozsahu výstupů jsou dále uvedeny jen některé z nich. Celkový přehled výstupů je v příloze.

3.2.5.1 Ganttovy diagramy

- Ganttovy diagramy pro zdroje

Ganttovy diagramy pro zdroje udávají časovou posloupnost událostí, které daný zdroj musí zpracovat. Obrázek č. 47 zobrazuje Ganttovy diagramy pro zdroje použité v simulačním modelu. Vzhledem k rozsahu Ganttových diagramů nelze z jednoho obrázku dělat závěry, pro analýzu byly použity dynamické Ganttovy diagramy přímo ze simulačního systému. Tyto Ganttovy diagramy slouží dále pro rozvrhování výroby a pro dílenské řízení výroby. Například pro dávku č.9 ze zakázky 202704_00330000532_2 bylo zjištěno, že procesní krok 050 (frézuje modely) probíhá na zdroji F5F104MS, a to od 10:47 h až do 18:20 h, neboli 7,55 hodin.



Obr.47: Ganttův diagram pro zdroje (zdroj: vlastní)

- Ganttovy diagramy pro výrobní dávky

Ganttovy diagramy pro výrobní dávky udávají posloupnost výrobních

a transportních úkonů pro jednotlivé výrobní dávky. Tyto diagramy jsou poskytovány výrobním manažerům tak, aby zjistili termíny dokončení výrobních příkazů a sledovali tok výroby. Posloupnost výrobních operací pro dávku č.6 výrobního příkazu 202704_00330000532_10 je zřejmá z obrázku číslo 48.

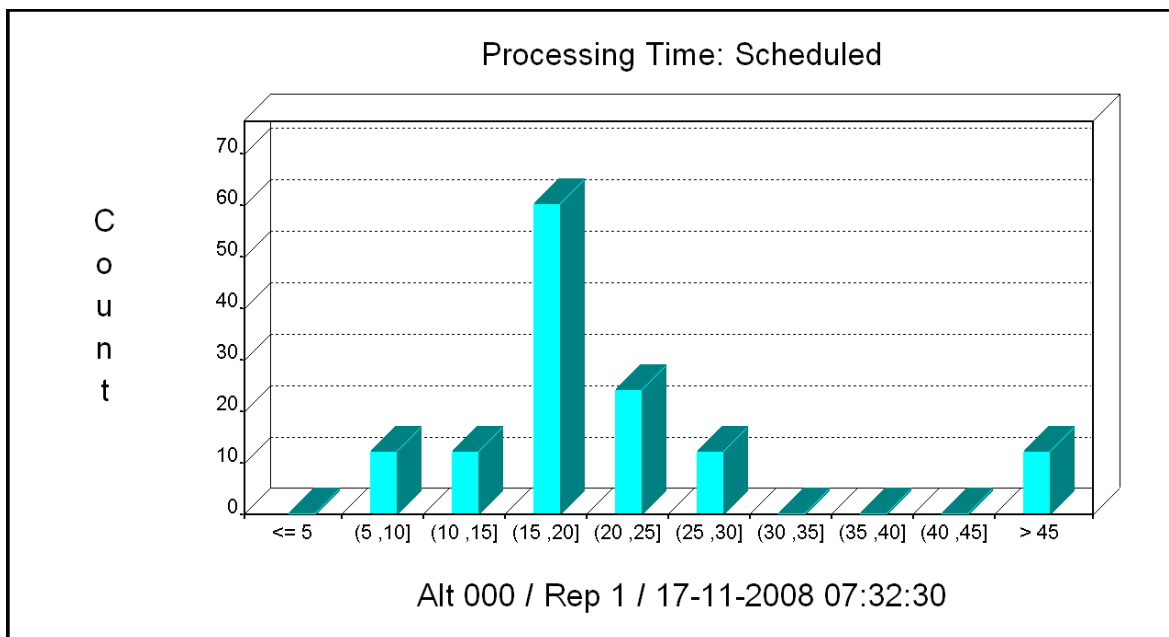


Obr.48: Ganttův diagram pro výrobní dávky (zdroj: vlastní)

3.2.5.2 Grafické výstupy EVALUATE/GRAPH

- **Procesní čas dávek**

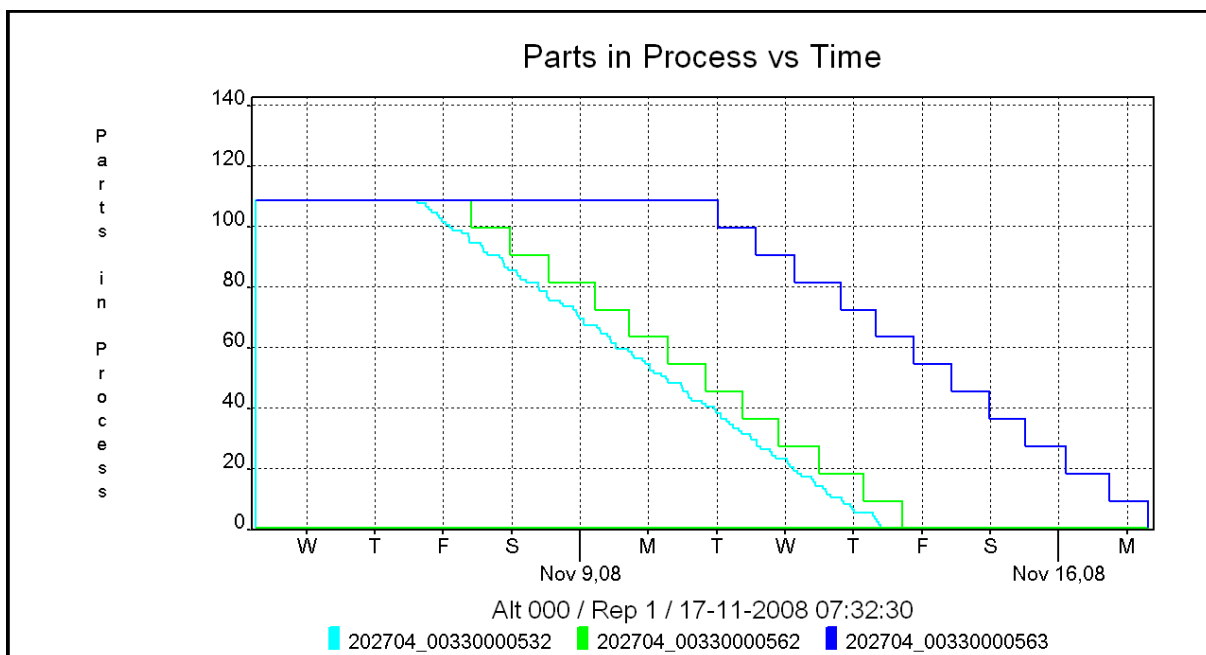
Histogram procesního času udává pravděpodobnost rozložení procesních časů jednotlivých dávek. Zjistili jsme, že s největší pravděpodobností procesní čas je v rozmezí 15-20 hodin (Obr.č.49).



Obr.49: Procesní čas dávek – histogram (zdroj: vlastní)

- Počet výrobků v procesu:

Následující diagram (Obr.č.50) zobrazuje počet jednotlivých výrobků (model, flexibel a odlitek) ve výrobě v čase a udává přehled o plnění plánu výroby.



Obr.50: Počet výrobků v procesu (zdroj: vlastní)

3.2.5.3 Reporty – textové výstupy

- Sumarizační výstup alternativ

Souhrnné informace o alternativách jsou soustředěny do jednoho textového výstupu (Obr.č.51), ze kterého jsme vyčetli, že celkový simulační čas je 313,542 hodin a během kterého bylo zpracováno 36 výrobních příkazů. Průměrná průběžná doba výrobního příkazu je 195,333 hodin a průměrné zpoždění 185,333 hodin. Toto zpoždění nelze považovat za relevantní údaj, protože zadavatel úkolu neuvedl u všech výrobních příkazů požadované termíny dokončení.

Reporter - Alternative 000 - [Alternative Summary]																
Project: FACTOR/AIM Project BAR_SLEV Completion Date: 17-11-2008 07:32:30 Alternative: 000 -																
Alt	Simulation Time	Orders				Order Cycle Time				Order Lateness				Order Tardiness		
		Number Released	Number Completed	Number Late	Percent Late	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	Std Dev	Minimum
000	313.542	36	36	36	100.000	195.333	61.622	74.225	319.542	185.333	61.622	64.225	309.542	185.333	61.622	64.225

Obr.51: Sumarizační výstup alternativy (zdroj: vlastní)

- Sumarizační výstup pro zdroje a skupiny zdrojů:

Sumarizační výstup pro zdroje a skupiny zdrojů soustřeďuje souhrnné informace sloužící výrobnímu manažerovi pro důslednou analýzu výrobního systému (Obr.č.52). Je uvedeno procentuální setrvání zdrojů v různých stavech, jako například frézka F5DG15MS pracovala 30% z celkové doby a průměrná délka fronty byla téměř 21 kusů. Musím poznamenat, že délka fronty dosahovala ve svém maximu 107 kusů. Vzhledem k rozsahu dat kompletní sumarizační výstupy alternativy jsou dostupné přímo v simulačním systému a nejsou explicitně uváděny.

Reporter - Alternative 000 - [Resource Summary]																
Project: FACTOR/AIM Project BAR_SLEV Completion Date: 17-11-2008 07:32:30 Alternative: 000 - Replicate: 1																
Resource	Proportion			States								Queue Length				
	Scheduled On Shift	Overtime	On Shift Busy	Busy	Setup	Idle	Breakdown	Maintenance	Blocked	Off Shift	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Average	
F5DG15MS	1.000	0.000	0.302	0.302	0.001	0.697	0.000	0.000	0.000	0.000	20.856	37.229	0.000	107.000	28.681	
F5ES01MS	1.000	0.000	0.496	0.496	0.000	0.504	0.000	0.000	0.000	0.000	17.640	21.966	0.000	69.000	46.091	
F5FI01MS	1.000	0.000	0.513	0.513	0.000	0.487	0.000	0.000	0.000	0.000	17.640	21.966	0.000	69.000	46.091	
F5FI02MS	1.000	0.000	0.496	0.496	0.000	0.504	0.000	0.000	0.000	0.000	17.640	21.966	0.000	69.000	46.091	
F5FI03MS	1.000	0.000	0.496	0.496	0.000	0.504	0.000	0.000	0.000	0.000	17.640	21.966	0.000	69.000	46.091	
F5FI04MS	1.000	0.000	0.490	0.490	0.000	0.510	0.000	0.000	0.000	0.000	17.640	21.966	0.000	69.000	46.091	
F5FI05MS	1.000	0.000	0.495	0.495	0.000	0.505	0.000	0.000	0.000	0.000	17.640	21.966	0.000	69.000	46.091	
FLVYF1MS	1.000	0.000	0.295	0.295	0.000	0.705	0.000	0.000	0.000	0.000	5.494	4.827	0.000	12.000	47.846	
MEJA01MS	1.000	0.000	0.038	0.038	0.000	0.962	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
MEJA02MS	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
MODMOFLE_1	1.000	0.000	0.537	0.537	0.000	0.463	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_10	1.000	0.000	0.026	0.026	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_11	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_12	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_13	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_2	1.000	0.000	0.483	0.483	0.000	0.517	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_3	1.000	0.000	0.477	0.477	0.000	0.523	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_4	1.000	0.000	0.411	0.411	0.000	0.589	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_5	1.000	0.000	0.395	0.395	0.000	0.605	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_6	1.000	0.000	0.320	0.320	0.000	0.680	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_7	1.000	0.000	0.251	0.251	0.000	0.749	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_8	1.000	0.000	0.260	0.260	0.000	0.740	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODMOFLE_9	1.000	0.000	0.134	0.134	0.000	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	5.584	4.788	0.000	12.000	3.647	
MODSAJAD_1	1.000	0.000	0.448	0.448	0.000	0.552	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_10	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_2	1.000	0.000	0.378	0.378	0.000	0.622	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_3	1.000	0.000	0.292	0.292	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_4	1.000	0.000	0.241	0.241	0.000	0.759	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_5	1.000	0.000	0.121	0.121	0.000	0.879	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_6	1.000	0.000	0.102	0.102	0.000	0.898	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_7	1.000	0.000	0.102	0.102	0.000	0.898	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	
MODSAJAD_8	1.000	0.000	0.013	0.013	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.000	5.788	4.848	0.000	12.000	18.905	

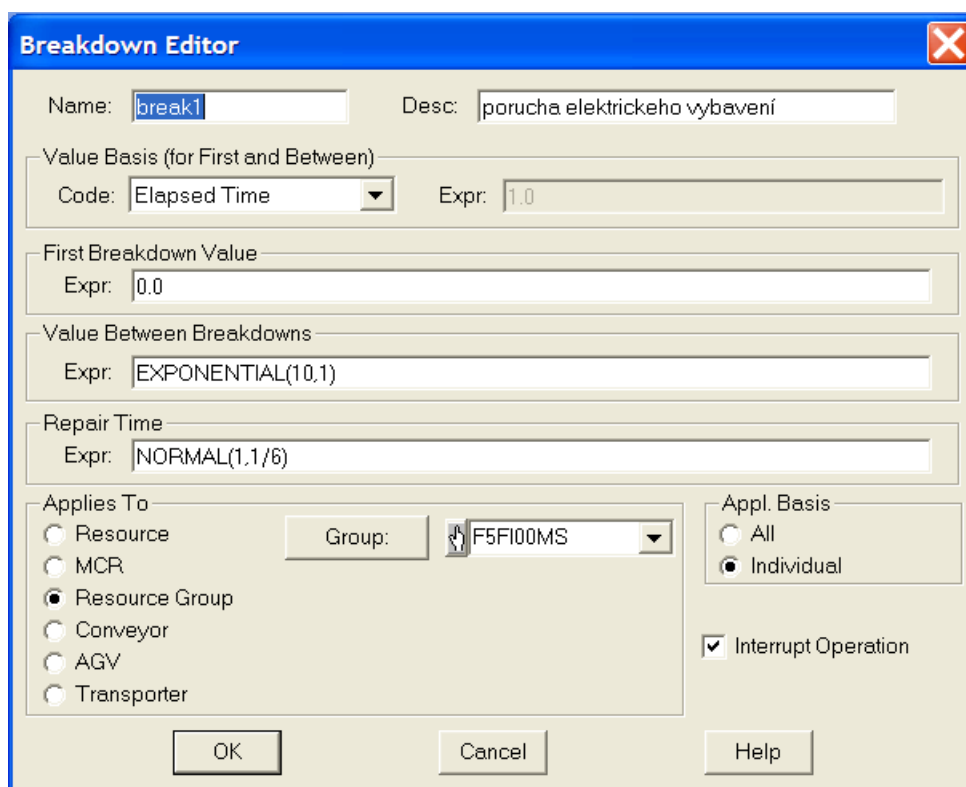
Obr.52: Sumarizační výstup pro zdroje a skupiny zdrojů (zdroj: vlastní)

3.2.6 Simulační experiment vlivu poruchovosti strojů

V závěrečné kapitole je popsán simulační experiment zaměřený na vliv poruchovosti strojů. Na konci této kapitoly je provedena analýza výsledků experimentu a jejich souhrn zaměřený na využití zdrojů a propustnost systému.

3.2.6.1 Popis experimentu

Na zvolené skupině zdrojů (Resource Group) byl zkoumán vliv poruchovosti strojů. Pro všechny stroje ze zkoumané skupiny (tj. skupina zdrojů F5FI00MS) byly nadefinovány poruchy (Obr.č.53). Příklad definice jedné z poruch je uveden níže.



Obr.53: Formulář zobrazující definici poruchy elektrického vybavení (zdroj: vlastní)

3.2.6.2 Specifikace poruch

„Value Between Breakdown“ je hodnota distribuční funkce, udávající vznik poruch dle exponenciálního rozložení, kde první parametr udává střední hodnotu rozložení a druhý číslo generátoru pseudonáhodných čísel (Obr.č.54).

„Repair time“ udává dobu trvání oprav dle normálního rozložení, kde první parametr je střední hodnota rozložení a druhý parametr udává směrodatnou odchylku.

3.2.6.3 Analýza výstupů simulačního experimentu

Simulační experiment se provede spuštěním simulačního běhu s nadefinovanými poruchami a porovnáním výstupů alternativy bez poruch a alternativy s nadefinovanými poruchami. Výstupy experimentu lze zobrazit pomocí grafů nebo textových výstupů.

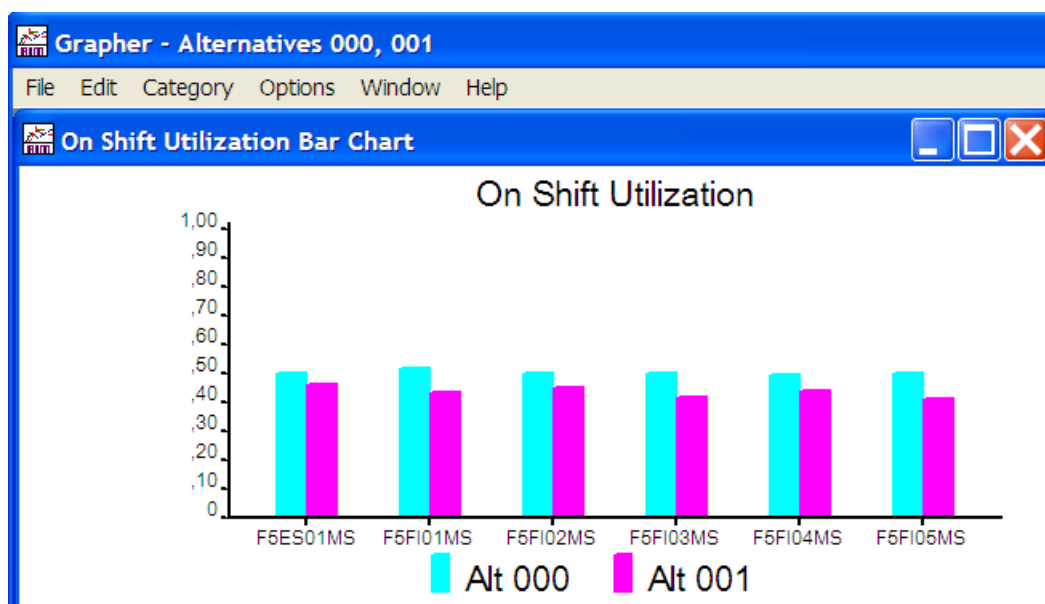
- Využití zdrojů skupiny

Obrázek č.54 zobrazuje využití zdrojů klíčové skupiny F5F100MS pro alternativy bez poruch a s poruchami. Poruchy zaberou 24,2% z celkového času a využití strojů se sníží z 49,6% na 45,5%. Toto snížení nemá zásadní vliv na výrobní systém.

Reporter - Alternatives 000, 001 - [Resource Summary]											
 File Edit Input Output Options Window Help											
Project: FACTOR/AIM Project BAR_SLEV						Completion Date: 19-11-2008 08:48:22					
Alternative: 000 - zakladni alternativa						Replicate: 1					
Alternative: 001 - vliv poruchovosti stroju											
Alt	Group	Resource	----Proportion----		On Shift Busy	-----States-----					
			Scheduled On Shift	Overtime		Busy	Setup	Idle	Breakdown	Maintenance	Blocked
000	F5FI00MS	F5ES01MS	1.000	0.000	0.496	0.496	0.000	0.504	0.000	0.000	0.000
001			1.000	0.000	0.455	0.455	0.000	0.303	0.242	0.000	0.000
000	F5FI01MS	F5FI01MS	1.000	0.000	0.513	0.513	0.000	0.487	0.000	0.000	0.000
001			1.000	0.000	0.428	0.428	0.000	0.317	0.255	0.000	0.000
000	F5FI02MS	F5FI02MS	1.000	0.000	0.496	0.496	0.000	0.504	0.000	0.000	0.000
001			1.000	0.000	0.444	0.444	0.000	0.326	0.230	0.000	0.000
000	F5FI03MS	F5FI03MS	1.000	0.000	0.496	0.496	0.000	0.504	0.000	0.000	0.000
001			1.000	0.000	0.413	0.413	0.000	0.325	0.262	0.000	0.000
000	F5FI04MS	F5FI04MS	1.000	0.000	0.490	0.490	0.000	0.510	0.000	0.000	0.000
001			1.000	0.000	0.436	0.436	0.000	0.324	0.240	0.000	0.000
000	F5FI05MS	F5FI05MS	1.000	0.000	0.495	0.495	0.000	0.505	0.000	0.000	0.000
001			1.000	0.000	0.404	0.404	0.000	0.329	0.267	0.000	0.000

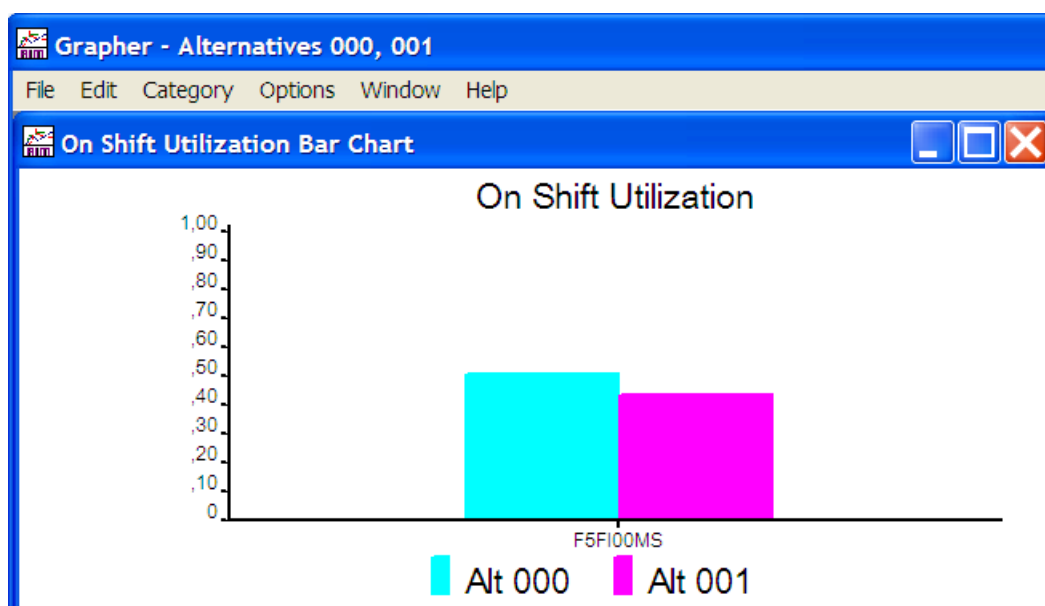
Obr.54: Využití zdrojů skupiny F5FI00MS (zdroj: vlastní)

Grafická prezentace výše uvedeného tvrzení pro jednotlivé zdroje skupiny F5F100MS je na obrázku č.55.



Obr.55: Využití zdrojů skupiny (zdroj: vlastní)

Grafická prezentace využití skupiny zdrojů F5F100MS je na obrázku č.56.



Obr.56: Využití zdrojů skupiny z hlediska alternativ (zdroj: vlastní)

- Výrobnost („Production rate“)

„Production rate“ je charakteristika související s výrobností systému a udává počet hotových výrobků za hodinu. Vlivem poruchovosti „Production rate“ klesl z 1,033 na 0,894 (Obr.č.57a, 57b a 58). (17)

Reporter - Alternatives 000, 001

File Edit Input Output Options Window Help

 Alternative Summary

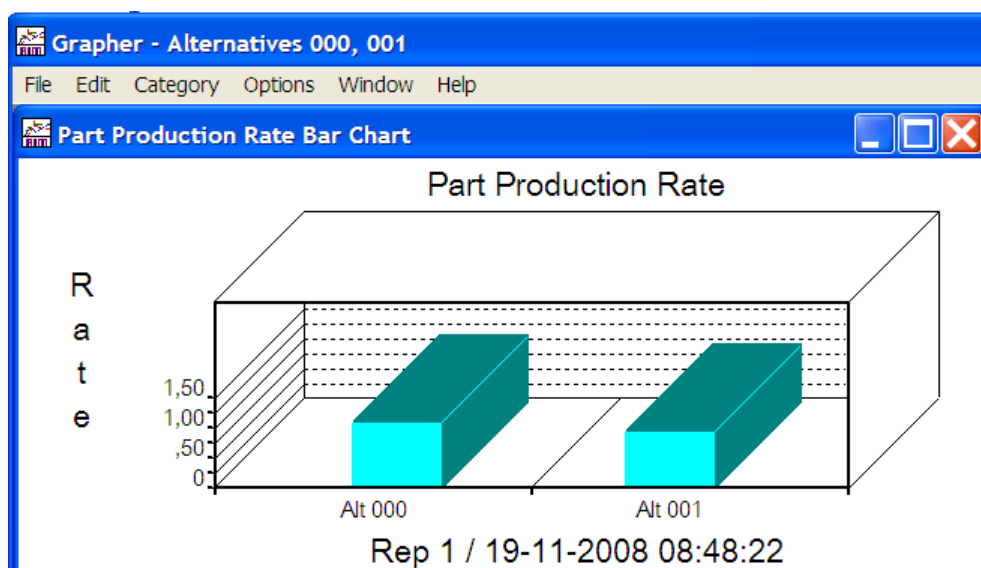
Project: FACTOR/AIM Project BAR_SLEV Completion Date: 19
Alternative: 000 - zakladni alternativa
Alternative: 001 - vliv poruchovosti stroju

Alt	Simulation Time	Orders					Average
		Number Released	Number Completed	Number Late	Percent Late		
000	313.542	36	36	36	100.000	195.333	
001	362.490	36	36	36	100.000	229.749	

Obr.57a: Porovnání hodnot alternativ (zdroj: vlastní)

Number of Loads--- ---Part Summary---			
In System	Total Produced	Production Rate	
873	61.510	324	1.033
540	63.401	324	0.894

Obr.57b: Porovnání hodnot alternativ (zdroj: vlastní)



Obr.58: Výrobnost (Propustnost systému) (zdroj: vlastní)

4 Závěr

Proces tvorby této práce byl přínosný, a to nejen z hlediska využití informací z vysokoškolského studia, ale i získání cenných zkušeností s tvorbou simulačního modelu. Praktické seznámení s APS systémy mi přineslo nový rozhled o možnostech těchto systémů, jako například integrace s plánovacími aplikacemi, porovnání alternativ a přehledné grafické zobrazení simulačního modelu a výsledků. Při konfrontaci s profesionálním prostředím v oboru počítačové simulace jsem si rozšířila vědomosti a rozhled v této oblasti.

Pro analýzu a optimalizaci byly vytvořeny simulační modely dvou výrobních systémů za použití APS systémů patřících do kategorie FCP (Finite Capacity Planning).

Po prosimulování různých alternativ rozvržení výroby byla vyhodnocena nejlepší varianta a doporučena pro aplikaci na výrobní systém. Analýza úzkých míst výroby se prováděla podle procentuálního využití zdrojů, analýzy front vznikajících ve výrobě při dopředném plánování a analýzy ganttových diagramů. Byla zpracována doporučení pro manažery výroby.

Při zpracovávání této práce bylo kladeno za cíl zvýšení výrobnosti (Production Rate) podniku. Z tohoto důvodu byly použity dva přístupy, které na sebe navazují. U prvního přístupu se zvyšuje jen směnnost a počet operátorů, aniž by se přidávaly nové zdroje.

U druhého přístupu se pro rozšíření kapacity úzkých míst přidaly nové stroje za cenu navýšení investičních nákladů.

Pro první přístup byly vygenerovány a porovnávány různé alternativy (0 až 5). Nejlepší výrobnost vykazuje alternativa 3 (19.356 ks/hod), přičemž ale dochází ke snížení využití klíčového zdroje 3050016. U alternativy č.3 je dosažen nejkratší simulační čas na zpracování všech dávek a největší hodinová výrobnost 19.356 [ks/hod] (Production rate). Pro aplikaci do výrobního podniku byla doporučena alternativa číslo 3, tzn. zavedení druhé a třetí směny pro zdroj 3050026 a zavedení třetí směny pro zdroj 6020025. Zvyšování kapacity je prováděno v celých směnách na základě požadavku managementu podniku.

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

Dále byl zpracován další simulační model výrobního systému (slévárna), kde byl sledován průběh zakázky organizací. Při implementaci simulačního modelu slévárny muselo

být vyřešeno několik problémů. Jednalo se zejména o vytvoření procesních plánů pro model (z umělého dřeva), flexibel a odlitek. Algoritmus hmotného toku pro odlitek byl nejvíce náročný, protože zde bylo nutné zajistit rozdělení výrobní dávky na segmenty a speciální kontrolu vybraných segmentů.

Vytvořený simulační model hodnotí kapacitní požadavky na jednotlivé zdroje. Tento simulační model generuje plán práce pro zdroje a skupiny zdrojů (viz. Ganttovy diagramy). Na základě výstupů jednotlivých simulačních běhů bylo zjištěno, že následkem poruchovosti strojů u zkoumané skupiny došlo ke snížení výrobnosti a využitosti zdrojů. Výrobnost zavedením poruch poklesla v rámci zkoumané skupiny zdrojů z 1,033 na 0,893. Využití zdrojů pokleslo v rámci zkoumané skupiny zdrojů z 0,5 na 0,43. Tyto výstupy ukazují, jak se vlivem špatné kvality či zastaralosti zdrojů sníží výrobnost celého systému. Z toho vyplývá doporučení managementu podniku, aby věnoval zvýšenou pozornost údržbě zdrojů a rozpracoval plán pro štíhlou výrobu.

Další využití simulačního modelu se předpokládá pro ověřování nových výrobních plánů, změny v konfiguraci výrobního systému a také pro dílenské řízení výroby v reálném čase.

Seznam použitých zdrojů

- (1) PINEDO, Michael L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York, USA : Springer, 2005. 506. ISBN: 0-387-22198-0.
- (2) ASKIN, Donald G., GOLDBERG, Jeffrey B. *Design and analysis of lean production systems*. The University of Arizona : John Eley and Sons, 2002. 533. ISBN: 0-471-11593-2.
- (3) MAIMON, O., KHMELNITSKY, E., KOGAN, K. *Optimal flow control in manufacturing systems (Production Planning and Scheduling)*. The Netherlands : Kluwer Academic Publisher, 1998. 346. ISBN: 0-7923-5106-1.
- (4) HOUSER, P. *MRP (Material Requirements Planning, Manufacture ressource Planning)*. [online]. 2007 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://businessworld.cz/ostatni/mrp-material-requirements-planning-manufacture-resource-planning-3311>>.
- (5) HÁLEK. *Plánování a organizování*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://halek.info/prezentace/planovani-organizovani-prednasky/poprp.php?l=04&projection&p=15>>.
- (6) *Manufacturing Resource Planning*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_resource_planning>.
- (7) *Enterprise Resource Planning*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Enterprise_resource_planning>.
- (8) VÍDECKÁ, Z. *Plánování a řízení výroby*. Přednášky předmětu Informační podpora procesů (Fakulta Podnikatelská VUTBR). 2010
- (9) SIMEONOV, S. *Pokročilé plánování a rozvrhování*. Přednášky (Fakulta Strojní VUTBR). 2010
- (10) *Pokročilé plánování a rozvrhování*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_planning_and_scheduling.

- (11) KURZ, Z. *Postavení APS systémů v Japonsku*. [online]. 2010 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://aimagazine.cz/aimagazine/7-vyroba/192-postaveni-asp-system-v-japonsku>>.
- (12) *APS/SCM systémy*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://www.systemonline.cz/prehled-informacnich-systemu/aps-scm-systemy/>>.
- (13) *Operativní řízení výroby*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://www.axiomsw.cz/operativni-rizeni-vyroby/operativni-rizeni-vyroby.html?SInp=AHP+Leitstand&RND=2711409>>.
- (14) *AROP- Systém plánování a řízení výroby*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://www.arsiqs.cz/arop/>>.
- (15) *Infor ERP Syteline*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://www.iteuro.cz/reseni/produkt-erp/>>.
- (16) *APS Preactor*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://www.minerva-is.eu/aps-preactor.html>>.
- (17) SIMEONOVÁ, I. *Simulace a analýza výrobního systému*. (Bakalářská práce) Brno: VUTBR (Fakulta Informačních Technologií), 2008. 45 s.
- (18) *O nás*. [online]. 2007 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <<http://www.medin.cz/cz/uvod/onas.html>>.

Seznam zkratek

AATP (Allocated Available To Promise)
APS (Advanced Planning and Scheduling)
ATP (Available To Promise)
BOM (Bill Of Materials)
CAD (Computer Aided Design)
CAM (Computer Aided Manufacturing)
CAPP (Computer Aided Production Planning)
CPFR (Collaborative Planning, Forecast and Replenishment)
CRP (Capacity Requirement Planning; Continuous Replenishment Planning)
CTP (Capable To Promise)
DF (Digital Factory)
DRP (Distribution Resource Planning)
ECR (Efficient Consumer Response)
EDD (Earliest Due Date)
ERP (Enterprise Resource Planning)
FCP (Finite Capacity Planning)
FCS (Finite Capacity System)
JIT (Just In Time)
LAN (Local Area Network)
MPS (Master Production Schedule)
MRP I (Material Requirement Planning)
MRP II (Manufacturing Resource Planning)
MSO (Modelování, Simulace, Optimalizace)
SFC (Shop Floor Control)
SOP (Start Of Production)
SPT (Shortest Processing Time first)
VMI (Vendor Managed Inventory)
WIP (Work In Process)

Seznam obrázků

Obr.1: Diagram informačního toku ve výrobním systému.

Obr.2: Diagram informačního toku v systému CRM

Obr.3(a): Zpoždění L_j zakázky j

Obr. 3(b): Zpoždění T_j zakázky j

Obr. 3(c): Nákladová funkce v praxi

Obr. 4: Tvorba hlavního plánu výroby

Obr.5: Enterprise Resource Planning (ERP)

Obr.6a,b: Ukázky virtuální továrny

Obr.7a: Produkt-šrouby

Obr.7c: Produkt-hřeby

Obr.7b: Produkt-dlahy

Obr.8: Stroje a mezisklady v jednotlivých výrobních halách

Obr.9: Definice výrobků

Obr.10: Definice zakázky

Obr.11: Process Plan

Obr.12: Definice procesního kroku

Obr.13: Definice zdroje, skupiny zdrojů

Obr.14: Definice směn

Obr.15: Definice sdružení zdrojů do skupiny

Obr.16: Definice meziskladu

Obr.17: Nastavení simulačního prostředí

Obr.18 a,b: Ganttovy diagramy pro zdroje a zakázky

Obr.19: Tabulka - úzká místa

Obr.20: Grafická prezentace vytíženosti zdrojů

Obr.21: Definice úzkých míst – vytíženost směn

Obr.22: Délka fronty v čase

Obr.23: Využití zdrojů

Obr.24: Zatížení zdrojů 3050016_1

Obr.25: Fronta dávek u skupiny zdrojů 3050016

Obr.26: Průměrná průběžná doba zakázky

Obr.27: Výrobnost výrobního systému

Obr.28: Průměrný počet dávek v procesu

Obr.29: Počet dávek čekajících na zpracování
Obr.30: Procentuelní využití zdroje 3050016
Obr.31: Procentuelní využití zdroje 3050026
Obr.32: Procentuelní využití zdroje 6020025
Obr.33: Simulační čas jednotlivých alternativ v hodinách
Obr.34: Modelovací komponenta Demand
Obr.35: Výrobnost systému – rozšíření variant
Obr.36: Vývoj investičních nákladů u jednotlivých alternativ
Obr.37: Konceptuální model systému
Obr.38: Část simulačního modelu
Obr.39: Formulář sloužící k modelování zdrojů
Obr.40: Formulář sloužící k modelování skupin zdrojů
Obr.41: Formulář sloužící k modelování materiálů
Obr.42: Formulář sloužící k modelování procesních plánů - zde pro odlitek
Obr.43: Formulář sloužící k modelování výrobků
Obr.44: Formulář sloužící k modelování zakázek
Obr.45 Formulář sloužící k modelování vyhledávacích tabulek
Obr.46: Formulář sloužící k modelování procesního kroku
Obr.47: Ganttův diagram pro zdroje
Obr.48: Ganttův diagram pro výrobní dávky
Obr.49: Procesní čas dávek – histogram
Obr.50: Počet výrobků v procesu
Obr.51: Sumarizační výstup alternativy
Obr.52: Sumarizační výstup pro zdroje a skupiny zdrojů
Obr.53: Formulář zobrazující definici poruchy elektrického vybavení
Obr.54: Využití zdrojů skupiny F5FI00MS
Obr.55: Využití zdrojů skupiny
Obr.56: Využití zdrojů skupiny z hlediska alternativ
Obr.57a: Porovnání hodnot alternativ
Obr.57b: Porovnání hodnot alternativ
Obr.58: Výrobnost (Propustnost systému)

Seznam tabulek

Tab.1: Výsledky dosažené nasazením systému DF

Tab.2: Haly výrobního systému

Tab.3: Dávky na výrobní příkaz

Tab.4: Alternativy řešení

Tab.5: Zdroje alternativy 001

Tab.6: Všechny alternativy, jejich výrobnost a investiční náklady

Tab.7: Struktura položky technologického postupu

Tab.8: Struktura položky kusovníku

Tab.9: Blokový diagram znázorňující výrobní postup odlitku

Tab.10: Blokový diagram znázorňující výrobní postup flexibelu

Tab.11: Blokový diagram znázorňující výrobní postup modelu