

## SIMULACE A OPTIMALIZACE PŘI PLÁNOVÁNÍ VÝROBY

*Ing. David Tuček, Ph.D.*

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta managementu a ekonomiky,

Ústav managementu výroby-průmyslového inženýrství

### 1. Časové horizonty plánování výroby

Hlavní cíl plánování výroby můžeme definovat také jako: uspokojení požadavků trhu při minimalizaci nákladů spojených s výrobou, skladováním a případnými nevyřízenými objednávkami. To však vyžaduje, aby výstup výrobního procesu co nejpřesněji odpovídal průběhu poptávky, a to při respektování všech omezení, která ve výrobě existují. Výstup výrobního procesu se dá podstatně ovlivnit způsobem, jakým jsou do výroby zadávány výrobní zakázky.

Při plánování výroby tedy řešíme úlohu, jak zorganizovat výrobní proces a jakým způsobem zadávat do výroby jednotlivé výrobní zakázky. Plánování se obvykle děje v několika úrovních:

- a) strategické plánování: zahrnující rozhodování o investicích, plánování a výstavbu výrobních kapacit;
- b) taktické plánování: zahrnující tvorbu výrobních plánů na základě poptávky, alokaci zdrojů, pracovních sil a materiálu;
- c) operativní plánování, se kterým souvisí operativní zajišťování výroby, operativní evidence výroby a řízení průběhu výroby – dispečerské, přímé, změnové a odchylkové řízení

Při modelování výroby se čím dál více prosazují simulační modely. Představují jedinou možnost, jak popsat chování i velmi složitých procesů s uvažováním náhodných jevů a všech podstatných vnitřních i vnějších vazeb. Ze známých charakteristik jednotlivých zařízení, řídicí logiky, materiálových toků, pravidel pro obsluhu a dalších vstupních údajů lze poskládat funkční model procesu, který se na zvolené úrovni podrobnosti chová stejně, jako proces samotný.

Velkou výhodou simulačních modelů je to, že při experimentování s nimi pracujeme s takovými parametry procesu, které mají svoji přímou analogii ve skutečném systému (operační časy strojů, počty pracovníků, dopravních prostředků a pod.). Proces nepovažujeme za černou skříňku, máme k dispozici úplnou informaci o jeho struktuře. Na rozdíl od abstraktních modelů, u kterých pracujeme s fiktivními parametry, můžeme snadno interpretovat výsledky optimalizace a implementovat je v praxi.

Důležitou složku plánovacího systému tvoří optimalizace. Pro optimalizaci výrobních systémů byly vyvinuty heuristické optimalizační algoritmy, které umožňují do optimalizačního scénáře kromě vstupů do procesu zahrnout i některé vhodné parametry simulačních modelů. Výsledkem optimalizace tak může být nejenom optimalizovaný výrobní plán, ale i optimalizovaná konfigurace výrobního systému.

Simulační modely je možné využít ve všech fázích životního cyklu procesu. Díky tomu, že je možné modelovat a analyzovat i dosud neexistující, plánované procesy, je možné simulaci využít pro podporu rozhodování již ve fázi posuzování kapitálových investic jak uvádí Zámečník v lit. [5].

### 2. Modelování

Efektivní obchodní plánování je závislé na relevantních informacích. Základem rozhodování managementu jsou většinou data z různých zdrojů - podnikového informačního systému, údajů o konkurentech, trhu apod.

Celkový objem a rozmanitost dat neustále vzrůstá, jsou uchovávány záznamy o prodejkách, výstupech, produktech, financích, personálu a ekologii. Podniky své databáze centralizují, potřebují sdílený přístup a údržbu. Celá řada výrobců software dnes dodává systémy ERP

(Enterprise Resource Planning) - integrované systémy pro pořizování a zpracování dat. S použitím periodických a agregovaných dat mohou být informace o podniku zobrazeny v kompaktní formě (např. jako časové tabulky, časové grafy a provozní výkazy). Tímto způsobem lze získat přehled o výkonnosti podniku v minulosti a dnes.

## **2.1. Modely a modelovací nástroje**

Hodnota pro zúčastněné - majitele, zaměstnance a zákazníky bude vytvořena v budoucnosti. Budoucí ziskovost závisí do značné míry na strategiích, plánech a rozpočtech. Ke zkoumání budoucnosti je možné použít modely. Každá předpověď je na modelech založena, většinou jsou to ale modely mentální. Základem takových předpovědí je často předpoklad lineárního průběhu, nebo exponenciální růst (10% roční expanze, apod.)

### **2.1.1. Statistické modely**

Statistické modely budoucích trendů jsou založeny na analýze historických časových řad. Tato analýza může zahrnovat absolutní hodnoty, trendy, křivky (rostoucí nebo klesající trendy) a různé typy oscilací v základních datech.

Statistické metody jsou založeny na předpokladu, že základní data byla generována (relativně) stabilní strukturou (funkcí) a že této struktuře budou vyhovovat i extrapolovaná data (v budoucnosti).

Pokud v podniku nebo jeho okolí dojde ke změnám, statistické modely nemohou poskytnout použitelnou předpověď. Předpoklad, že struktura podniku a jeho okolí zůstane stabilní je často nereálný - jedinou stabilní jistotou totiž je, že vše se neustále mění.

Protože jsou statistické modely závislé na datech, daří se jim nejlépe tam, kde jsou v hojné míře data k dispozici. To je případ výrobního procesu, kde se události neustále opakují a mohou být předmětem opatrných a řízených studií.

### **2.1.2. Modely v tabulkových procesorech**

Ke kvantifikaci možných důsledků změn mají všechny velké společnosti oddělení, která se zabývají tvorbou modelů podniku a souvisejících systémů, např. trhů a konkurentů. Tyto modely jsou využívány nejen jako součást plánovacího procesu, ale také pro důležité iniciativy týkající se strategie, akvizic, fúzí a aliancí. Tabulkové procesory (např. Excel) jsou pro tyto aplikace nejrozšířenějším softwarovým nástrojem, s jejich vzrůstajícím využíváním se ale stále častěji objevují i omezení této technologie. Tabulkové procesory vytvářejí statické modely, tj. modely bez zpětných vazeb, přičemž většina přirozených a sociálních procesů jsou procesy dynamickými. V tabulkovém procesoru je zpětná vazba eliminována - je třeba zabránit cyklickým závislostem a tak jsou takové modely platné pouze pro velmi krátká období (než zpětná vazba významně ovlivní výsledky). Mají přitom dvě hlavní výhody:

- a) Umožní zobrazování čísel důvěrně známým způsobem v tabulkách a grafech.
- b) Počítají závislé hodnoty, založené na vzorcích, které definují vztahy mezi proměnnými v buňkách. Proto jsou vhodné ke konsolidaci, agregaci a zpracování vztahů, které neobsahují zpětné vazby. Jakmile přerostou určitou mez, jsou obtížně pochopitelné. Hlavním důvodem je způsob vyjádření struktury modelu - děje se tam pomocí vzorců, skrytých v buňkách.

### **2.1.3. Simulační modely**

V poslední době výrazně stoupá zájem o nástroje určené pro modelování komplexních dynamických systémů, které navíc umožňují zavedení neurčitých prvků a rizika.

Existuje několik důvodů, proč dát simulaci přednost před získáváním zkušeností experimentováním s reálným systémem - je levnější, rychlejší (simulační čas může plynout mnohem rychleji než skutečný), můžeme testovat mnohem více možných variant, je bezpečná (lze testovat i katastrofické varianty), můžeme analyzovat i plánované systémy, které ještě neexistují a podobně.

Důvody pro využívání počítačové simulace lze shrnout do následujících bodů:

- simulací lze řešit i velmi složité systémy, které jsou neřešitelné analytickými metodami,
- simulace umožňuje studium chování systému v reálném, zrychleném nebo zpomaleném čase,
- již samotné zkušenosti z tvorby simulačního modelu mohou vést k návrhům na zlepšení řízení či struktury,
- simulace nabízí komplexnější pohled na studovaný problém,
- simulace vede k týmové práci,
- simulace poskytuje větší přehled o podnikových procesech,
- pozorování činnosti simulačního modelu vede k lepšímu pochopení reálného systému,
- pomocí simulace je možné důkladně prověřit různé varianty řešení,
- možnost využití již jednou vytvořeného simulačního modelu i v dalších činnostech podniku,
- simulace podporuje tvůrčí práci. [1]

### **Diskrétní modely**

Simulační technologie lze rozdělit na diskrétní a spojité systémy. Diskrétní systémy jsou založené na transakcích, zatímco spojité pracují na agregované úrovni. Pokud jsou diskrétní modely použity pro obchodní simulace, poskytují velmi detailní výsledky. Detailní a úplné modely jsou užitečné na nižších úrovních podniku, například při řízení procesů. Na strategické úrovni je ale přílišná podrobnost vzhledem ke zpožděním, nutným investicím, technickým znalostem a neurčitostí problematická až nežádoucí.

### **Spojité modely**

Na poli dynamiky systémů najdeme nástroje, které pracují s agregovanými stavy systémů a jejich změnami v čase. Stav a změna odráží finanční pozici a výkonnost ve světě podnikání. V dynamických systémech vyjadřujeme finanční pozici jako stavovou proměnnou a finanční výsledek jako závislou proměnnou. Mezi jazykem financí a jazykem dynamických systémů tedy existuje přímý vztah.

Dynamické systémy navíc umožňují zobrazení vztahů mezi prvky podniku. Oproti skrytým vzorcům v tabulkových procesorech nebo jednoúčelových počítačových programech vyjadřuje dynamický systém strukturu podniku ve formě grafických diagramů. Příkladem je diagram vztahu stavu hotovosti k platbám od zákazníků a výdajům na platy, daně apod.

Pohyb hotovosti je zobrazen jako tok potrubím, řízený ventily: Příjmy a Výdaje. Stav hotovosti je v jakémkoli okamžiku dán hodnotou stavové veličiny: Hotovost.

#### **2.1.4. Simulační program WITNESS**

Za posledních dvacet let se simulace stala flexibilním nástrojem pro podporu manažerského rozhodování a pro nalezení nejlepšího řešení problému. Program WITNESS od společnosti Lanner Group Ltd. splňuje všechny nároky na moderní simulační systém. WITNESS napomáhá omezit rizika při realizaci změn v organizacích tím, že umožňuje vytvářet interaktivním způsobem vizuálně srozumitelné simulační modely i složitých podnikových procesů, tyto analyzovat a optimalizovat. WITNESS umožňuje testování různých variant změn systému a vyhodnocení jejich dopadu na chování procesu. Je možné identifikovat úzká místa ve výrobě, vyhodnotit náklady a přínosy změn ještě před tím, než je zakoupeno potřebné zařízení, zvýšit výkonnost organizace bez nutnosti rozšíření zdrojů a podobně. [6]

#### **2.1.5. Modelovací prostředí PowerSim**

Technologie PowerSim je založena na dynamických systémech a proto je schopna vyjádření zpětné vazby, která je hnací silou rozvoje podniku. Nejedná se o cyklickou závislost, mezi příčinou a důsledkem je zpoždění. Statické modelovací prostředí (Excel apod.) chápe cyklické

závislosti jako chybu. Dynamická nástroj pohlíží na zpětnou vazbu jako na spirálu, kde akce je za určitou dobu následována reakcí (např. dnešní rozhodnutí o ceně ovlivní budoucí cenová rozhodnutí).

### 3. Hlavní přínosy modelování a simulace strategií

Nástroje pro dynamickou simulaci umožňují vytvoření realistických modelů podnikové problematiky. Proces vytváření je skvělou příležitostí k učení. Simulační model je nástrojem pro experimentování s různými scénáři a předpoklady. V situacích, která je nová a nejsou k dispozici dostatečná data může model sloužit jako nástroj pro zkoumání možných důsledků různých rozhodnutí.

Je mnohem lepší zmýlit se v rozhodnutí ve virtuálním světě našeho počítače, než riskovat chybu ve skutečném světě a ohrozit tak podnik nebo pracovní místa.

Dynamická simulace je technologie vytvořená pro práci se strategiemi, plánováním, předpověďmi, rozpočtováním a školením.

### 4. Využití počítačové simulace

Kdybychom se krátce podívali do nedaleké historie vývoje dnešních ERP, zjistili bychom, že na základě propojení dat a aktivit mezi systémy plánování a řízení výroby vznikla snaha integrovat zpracování informací provozně ekonomických a technických úkolů výrobní firmy do jednoho  **systému CIM (Computer Integrated Manufacturing), tedy počítačem integrovaná výroba** se společnou datovou základnou. Systémy operativního řízení výroby tak vytvořily díky propojení dat a aktivit mezi systémy plánování a řízení výroby základní řídicí osu konceptů CIM. Tato éra automatizace inženýrských prací zahrnovala softwarové aplikace na podporu např.: návrhu výrobků - konstruování (CAD - Computer Aided Design), tvorby nových výrobních postupů (CAP - Computer Aided Process Planning), či numerického řízení strojů a zařízení (NC - Numerical Control).

Tyto podpory tvořily součást tzv. CAM (Computer Aided Manufacturing) tj. počítačové podpory výroby. Tento spíše „výrobně“ orientovaný směr nasazování počítačů tvořil u nás i v Evropě podstatnou část tzv. počítačem integrované výroby (CIM- Computer Integrated Manufacturing).

Přes veškeré diskuse o aktuálnosti a **historických přínosech počítačové integrace - CIM** a prosazování „nových“ koncepcí výroby (Lean Production, Fraktálová továrna, TQM apod.) se ukazuje, že počítačové aplikace hrály, hrají a i nadále budou hrát významnou roli při zefektivňování všech činností podniku.

Stále významnějším podpůrným nástrojem v oblasti inovací podnikových procesů se stává **počítačová simulace**, která díky svým vlastnostem umožňuje předcházet chybám a minimalizovat rizika chybných rozhodnutí.

Počítačová simulace se používá k podpoře takřka všech podnikových činností:

- spojitá simulace pro řešení spojitě popsaných procesů k analýze časového chování procesu (např. simulace pohonů obráběcích strojů);
- diskrétní simulace pro řešení diskrétních systémů (např. logistických systémů);
- speciální simulace (řada z nich je integrována do komplexních CAD/CAM systémů):
  - 3D simulace pohybů (např. 3D simulace NC obrábění, 3D simulace obsluhy),
  - FEM simulace - využití metody konečných prvků (např. napěťová a deformační analýza, analýza teplotních polí jak uvádí Mihok a kol. v lit. [4]),
  - simulace kinematických vazeb mechanismů,
  - simulace servomechanismů, apod.

Mimoto existuje i celá řada dalších relativně „mladých“ technologií jako např: virtuální prototypování, teleservis pro stroje a zařízení ad.

## 5. Simulace v informačních systémech pro řízení výroby

Simulace přitom úspěšně pronikají i do samotných systémů pro řízení a plánování výroby. Snad jen jeden příklad za všechny bych mohl uvést využití konceptu: Modelování – Simulace – Optimalizace (MSO) v informačním systému AROP. Průběh těchto činností je stručně charakterizován v následujících subkapitolách. [2,3]

### 5.1. Modelování

**Pod pojmem modelování v AROPU** chápeme procesní dynamické plánování výroby. Základním cílem fáze modelování je definovat a věcně vyřešit dynamické plánování výroby v reálném čase. Srovnatelná oborová řešení se často pohybovala v klasických diskrétních konceptech postavených většinou na dávkovém zpracování. Revolučnost myšlenky spočívala v tom, že zahrkla všechny diskrétní a tudíž strnulé metody typu MRP (Material Requirement Planning) a MRP II a prosazovala objektivý a procesní přístup k řešení. Základní změnou pohledu na plán výroby je zde pojetí plánu jako „živého“ modelu reálného světa objektů. Ten se v reálném čase přizpůsobuje všem událostem a změnám, které nějakým relevantním způsobem zasahují do existujícího rozpisu výrobních aktivit, zdrojů, kapacit a nákladů. Událostí přitom rozumíme jakoukoliv změnu struktury primárních potřeb plánu (zakázkové náplně) či změnu technické dokumentace a podmínek výroby. Tato událost je promítána do dynamického plánu výroby zcela automaticky a okamžitě bez jakýchkoliv požadavků na specializovanou činnost uživatele a organizaci jeho workflow. Plánování výroby tudíž nabývá charakteru kontinuálního modelování v čase a prostoru výrobní organizace. Logickým důsledkem takového přístupu byla virtualizace výrobního procesu na bázi simulačních metod.

### 5.2. Simulace

Problematiku rozvrhování výroby v čase a v disponibilních kapacitách výrobního systému **převzal simulační model hmotného toku ve výrobě**. Simulace výroby přitom vytváří podmínky virtuální výrobní organizace s možností prověřit okamžitý stav požadavků na výrobu jejich modelovou realizací. V algoritmech simulačního modelu je zakotvena komplexní logistika výrobního procesu včetně simulované trajektorie veškerých zásob polotovarů i mezioperačních součástí a vnitropodnikové dopravy. Je umožněna simulace průtoku výrobními kapacitami „tahem“ (Kanban) či „tlakem“, synchronizace náběhu zakázek do výroby s výrobními předstihy či pevnými termíny, snadná manipulace s prioritami či automatická volba vhodných cest soubory výrobních zařízení.

**Vstupem simulačního modelu** je běžná a obvyklá struktura normativní základny TPV (technické přípravy výroby) a výrobních kapacit zahrnující navíc pouze parametry pro tvorbu výrobních dávek, plánovací metody výroby dílů s adresným či neadresným zhromadňováním (vč. velikosti pojistné zásoby, procenta zmetkovitosti apod.). Dále pak okamžitý stav plnění plánu výroby (stav rozpracovanosti), který je zaznamenáván přímo v objektech plánu výroby (výrobní příkazy, výrobní dávky, výrobní operace) a to v reálném čase z úrovně dílenského řízení výroby. Simulaci výroby je tedy možné spouštět kdykoliv v libovolném časovém okamžiku bez jakékoliv další přípravy. **Do simulace je možné zahrnout** i předvýrobní etapy ve formě projektů a nehmotných položek technické přípravy výroby ve vazbě na projektové kapacity technických útvarů uživatele.

Výstupem modelového procesu je **kapacitně průchodný časový rozvrh výroby**, navržené termíny dodávek nových výrobních zakázek, okamžitá bilance plánovaného vytížení zdrojů v grafickém vyjádření (sloupcové grafy) a **analýza úzkých míst** ve výrobě s možností jejich modifikace, dále pak detekce plánovaných skluzů v plnění plánu výroby v libovolném výhledu (vč. finálních výrobků) ve vazbě na dříve potvrzené termíny dodávek a okamžité skluzy v reálné výrobě. Mezi další výstupy patří Gantovy grafy náběhových křivek výroby v čase a ve zvolené struktuře výrobních pohledů (dle profesí, zakázek, období apod.). Takové grafické výstupy pak manažerům dopředu umožní mj. i sledování vytížení jednotlivých pracovišť či strojů.

### 5.3. Optimalizace

**Princip modelování a simulace** plánu výroby v reálném čase **umožňuje** koncovému uživateli **jednoduché řešení optimalizačních zásahů** do technologie a kapacitní struktury výrobního systému, dále pak optimální struktury zakázek, volby plánovacích metod a výrobních parametrů. Přímé uplatnění teorie omezení, resp. jejího výrobního řešení Drum Buffer Rope (DBR) je zde nasnadě. Virtuální pohled na výrobní realizaci daného plánu výroby pak dává možnost řešit problémy vlastní výroby dříve, než ve skutečnosti nastanou, a to v celém plánovacím horizontu včetně výrobního plánování postaveném na prognóze.

#### Závěr

Při simulaci výrobních systémů je nezbytné zvolit vhodnou metodu a postup řešení. Úspěch simulace je zaručen pouze při včasné nasazení s využitím prvků týmové práce a při dodržení zásad projektového řízení.

Důležitou fází je úvodní etapa, protože již na počátku se rozhoduje o úspěchu či neúspěchu celého projektu. Simulace nám šetří čas i peníze, je však nutné mít kvalitní vstupní data a kvalifikovanou pracovní sílu, která zaručuje úspěch celé simulace. Jedním z důkazů, že dnes již simulace pronikají i do samotných systémů pro řízení a plánování výroby je koncept MSO v rámci IS AROP.

#### Literatura:

1. DANĚK, J., TVRDOŇ, L. *Využití simulačních modelů pro optimalizaci logistických řetězců* [online]. [citováno 2006-04-10]. Dostupné z: <<http://humusoft.cz>>.
2. TUČEK, D., Souhrnná zpráva o řešení výzkumného záměru MSMT 265300021, In. *Výzkum konkurenční schopnosti českých průmyslových výrobců- část Logistická podpora konkurenceschopných procesů a průmyslových výrobců*. Zlín: UTB, FaME Zlín, 2004, ISBN 80-7318-219-X
3. TUČEK, D., Informační systém jako podpora řízení výrobní firmy, In. *Setkání kateder průmyslového inženýrství – Konference 03*. Sborník abstraktů ze setkání kateder průmyslového a výrobního inženýrství. UTB, FaME Zlín, 2005, s. 29, ISBN 80-7318-373-0
4. MIHOK, J., MAJERNÍK, M., BADIDA, M., BOSÁK, M., LUMNITZER, E.: *Modelling and simulation of the combustion processes by using mathematical and statistical methods*. In: Machine design and production , Zborník 11. International conference umtik 2004, Antalya- Turkey, 13.-15. október 2004, str. 663-672. ISBN 975-429-227-2.
5. ZÁMEČNÍK, R.: Controlling jako nástroj řízení logistických systémů. Sborník z mezinárodní vědecké konference „Logisticko-distribučné systémy“, TU Zvolen, květen 2005, str. 231-235, ISBN 80-228-1446-6
6. Tisková zpráva, Praha 18.9.2000. *Nová verze programu WITNESS 2000* [online]. [citováno 2006-03-25]. Dostupné z: <<http://humusoft.cz>>.

#### Adresa:

Ing. David Tuček, Ph.D.  
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta managementu a ekonomiky  
Ústav managementu výroby – průmyslového inženýrství  
Mostní 5139  
760 01 Zlín  
Česká republika  
[tucek@fame.utb.cz](mailto:tucek@fame.utb.cz)