

# POČÍTAČOVÁ SIMULACE VE STROJÍRENSKÉ VÝROBĚ

VOLF Luděk, Ing., Centrum průmyslové simulace,  
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

BERÁNEK Libor, Ing., Měrové a školicí středisko Carl Zeiss,  
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

MIKEŠ Petr, Ing., Měrové a školicí středisko Carl Zeiss,  
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

**Anotace:** Počítačová simulace je jedním z nástrojů tzv. digitální továrny. Ve strojírenské výrobě můžeme simulaci využít jako jednoho z prostředků návrhu a optimalizace výrobních procesů a systémů, tedy především snižování výrobních a investičních nákladů, splnitelnosti výrobních plánů, prověřování vlivů zamýšlených inovací atd., obecně pro zvýšení konkurenceschopnosti podniků v již plně globalizované oblasti strojírenské výroby. Aby bylo možné uvedené přínosy skutečně prokázat a kvantifikovat, musí být počítačová simulace koncepčně a úspěšně implementována do výrobního procesu, čímž se zabývá tento příspěvek.

**Klíčová slova:** počítačová simulace, implementace, optimalizace, výrobní proces

## 1. Úvod

V současnosti se problematika řízení a plánování výroby zaměřuje především na kusovou a malosériovou (případně sériovou) výrobu, která tvoří 60 – 70% celkového objemu výroby, kde je specifikem široký výrobní program s velkým počtem souběžně běžících zakázek. Že se jedná o nadmíru aktuální záležitost, potvrzuje široce se rozvíjející spolupráce průmyslové sféry s akademickou na intenzifikaci implementace principů a nástrojů konceptu digitální továrny do svých výrobních procesů a systémů, kteréžto nástroje mají samotné řízení a plánování výroby v jeho novém pojetí vůbec efektivně umožnit.

## 2. Simulace

Simulaci (z latinského simulō, napodobit) můžeme pro potřeby řešení úloh technologického projektování chápat jako proces inženýrského modelování systému (= výrobní proces nebo výrobní systém). Podle jedné z definic je **simulace** výzkumnou metodou, jejíž podstata spočívá v nahrazení zkoumaného systému simulačním modelem, se kterým provádíme pokusy s cílem získat informace o původním zkoumaném systému.

Některé z důvodů užívání simulace:

- zkoumaný systém je natolik složitý, že neexistuje vhodná matematická metoda i formulace úlohy
- zkoumaný systém mění své vlastnosti příliš pomalu nebo příliš rychle
- zkoumaný systém by mohl při špatně zvoleném experimentu způsobit katastrofu sám sobě nebo svému okolí, přičemž nebezpečí takového experimentu nelze předem odhadnout
- se zkoumaným systémem lze těžko nebo vůbec manipulovat (ekonomické systémy), nelze s ním tedy experimentovat nebo jsou takové experimenty příliš nákladné

Pro využití simulačních metod mluví možnost komplexně zachytit **dynamické** (s časem proměnné) a **stochastické** (náhodné) **vady v systému**, možnost experimentovat tak, jak by to v realitě nebylo možné z různých důvodů (nákladnost, nebezpečnost, zdoluhavost, neexistence reálného systému) a možnost experimentovat v kontrolovatelně se měnících podmínkách.

Širší praktické nasazení simulace do výrobního procesu bylo možné až s rozvojem výpočetní techniky v devadesátých letech minulého století z důvodu potřeby pracovat s velkými objemy 2D a 3D dat, nejlépe v reálném čase a to jak při tvorbě simulačních modelů, přípravě experimentů, tak jejich běhu a následném vyhodnocování.

## 3. Simulační model

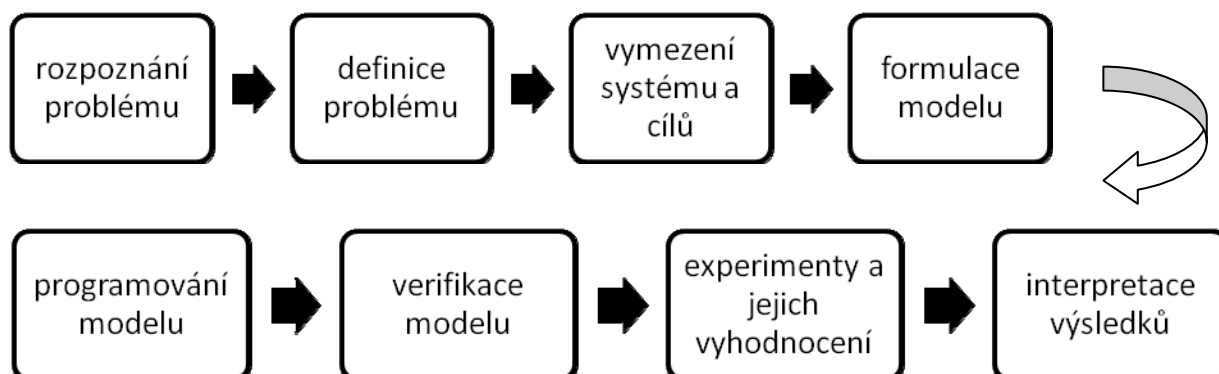
Simulační model je dynamický systém, v němž nastávají události a stavy jako ve zkoumaném (simulovaném) systému, a to ve stejném pořadí, avšak v jiných časových okamžicích. Ve strojírenské výrobě využíváme nejčastěji diskrétní modely, ve kterých se hodnoty proměnných mění nespojitě, po skocích v určitých časových intervalech.

Z hlediska vlastností dynamického systému dále rozlišujeme modely deterministické (hodnoty proměnných jsou v každém okamžiku přesně definovány, při stejných podmínkách jsou výsledky

simulace stejné, do modelu nejsou zahrnuty náhodné veličiny) a stochastické (zkoumaný problém nebo metoda řešení mají náhodný charakter, proměnné se chovají náhodně podle určené pravděpodobnosti).

#### 4. Tvorba simulačního modelu

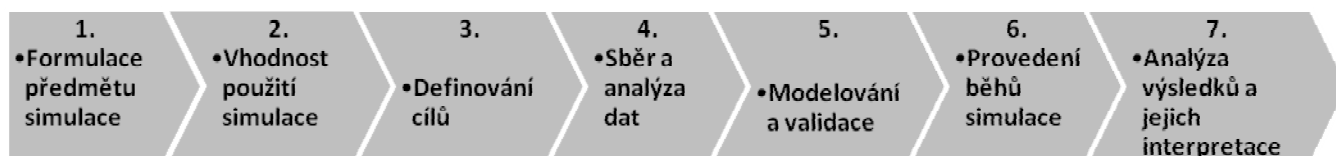
Postup tvorby simulačního modelu nazýváme modelováním (Obr. 1). Simulační model tvoříme (modelujeme) pro dosažení určitých cílů, kterými může být zodpovězení otázek z oblastí prověřování vlivu zamýšlených inovací, hledání vhodných pravidel řízení, posuzování a nalézání vhodné sortimentní struktury výrobků, prověřování splnitelnosti výrobních plánů, zvyšování průchodnosti výroby s minimálním stavem zásob a provozními náklady, plánování reorganizací, odstávek, údržby, výměn strojů a využití pracovních sil, rozhodování o investicích atd.



Obr. 1 Postup tvorby simulačního modelu  
Fig. 1 Procedure for creating a simulation model

#### 5. Implementace počítačové simulace

Implementaci chápeme zapojení počítačové simulace a simulačního modelu do rozhodovacích strategických, taktických i operativních rozhodovacích procesů výrobní společnosti. Hlavním cílem implementace by obecně mělo být poskytování informací pro kvalifikovaný zásah do výrobního procesu.



Obr. 2 Fáze postupu implementace počítačové simulace  
Fig. 2 Implementation stages of computer simulation

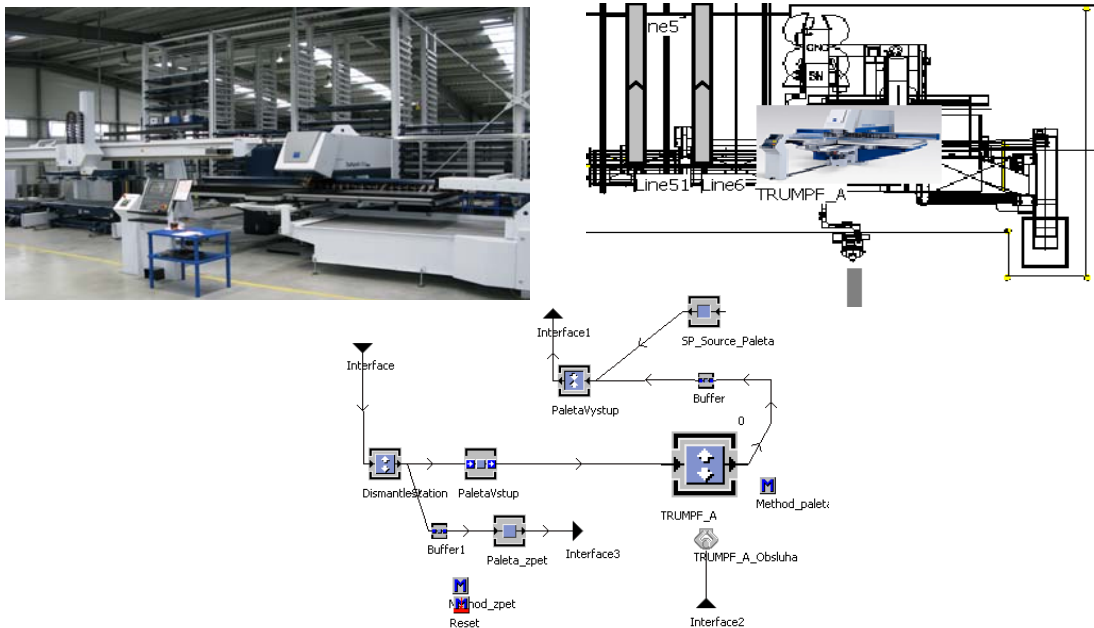
Na Obr. 2 jsou znázorněny jednotlivé fáze postupu implementace, jejichž nesprávné pořadí nebo vypuštění vede vždy k rozpadu implementačního procesu a nesprávným výsledkům.

- 1. Formulace předmětu simulace = vymezení výrobního profilu (stroje) a výrobního programu (výrobní představitelé), obecné zmapování výrobních postupů a toku materiálů
- 2. Vhodnost použití simulace = pokud nelze pro popis výrobního systému použít exaktního analytického matematického modelu, např. vzhledem ke stupni složitosti výrobního procesu, šířce výrobního programu a vysokému stupni proměnných, volíme simulační modelování
- 3. Definování cílů = kritická fáze modelování, při které nesmí dojít k rozdrobení cílů na velký počet detailů. Každá společnost má svůj vlastní soubor cílů, kterých chce dosahovat. Obvykle se tento soubor sestává z hlavního cíle (například ziskovost), a dále z množství dílčích cílů, které se navzájem ovlivňují. Hlavními cíli mohou být minimalizace výrobních (procesních) časů a objemu rozpracované výroby, maximalizace využití strojního vybavení a jejich obsluhy.
- 4. Sběr a analýza dat = fáze implementace, která je časově nejnáročnější (až 60% celkového času implementace). Na rozdíl od uklidněné a jasně popsané velkosériové výroby je u kusového a malosériového typu výroby značná nejistota u získaných dat společností, které jim sami mnohdy ne zcela nedůvěřují. Běžně je velká část informací zcela nedostupná (preseřizovací časy strojů, poruchovost, doba transportu, počet palet, počet výrobků na paletách). Tato fáze přináší

společnosti užitek už svým průběhem bez návaznosti na implementaci, čistě pro pořádek v technologických postupech, pracovních povinnostech obsluhy strojů a logistice.

- 5. Modelování a validace = na základě analýzy hmotného, časového a procesního toku výrobním systémem společnosti je ve vhodném softwaru vytvořen hierarchicky strukturovaný digitální model stávajícího stavu výrobního systému. Digitální model je naplněn reálnými údaji výrobních podmínek, plně obsahuje procesní vazby mezi jednotlivými částmi výrobního systému, vycházející z výrobních postupů zvolených výrobních představitelů, pro které je následně validován například porovnáním směnových výkonových parametrů (výrobnost).
- 6. Provedení běhů simulace = konstrukce řady experimentů, zaměřených na cíle implementace z fáze č. 3. Při simulačním běhu je nutné brát na zřetel stav rozpracované výroby (ne vždy začíná experiment se zcela prázdným výrobním systémem) a především dobu náběhu výroby, tedy počkat na stabilizování sledovaných parametrů vhodně zvolenou dobu (v krajních časech běhu simulace jsou některé nástroje, jako je např. sledování spotřeby směnového času, zcela nepoužitelné).
- 7. Analýza výsledků a jejich interpretace = fáze implementace, ve které zástupci jednotlivých výrobních oddělení zhodnotí výsledky simulačních experimentů, zpětnovazebně provedou návrhy optimalizace modelu a po jejich ověření pozitivní výsledky přenesou do reálného výrobního systému a ověří.

Teprve fyzickým přenesením výsledů simulačních experimentů do reálného výrobního systému a zafixování tohoto postupu jako běžné praxe při řízení výroby můžeme prohlásit implementaci počítačové simulace za ukončenou. Jakmile se podaří přijmout simulaci zamýšlených zásahů do výrobního systému jako automatické ověření těchto zásahů před jejich realizací, stává se počítačová simulace integrovanou součástí řídicích procesů společnosti a teprve tehdy můžeme její implementaci označit jako úspěšně ukončenou.



Obr. 3 Ukázka hierarchické tvorby modelu (vlevo nahoře reálné pracoviště, vpravo nahoře vizualizace pracoviště v modelu, dole detail modelu pracoviště)

Fig. 3 Example of hierarchical model formation (top left real workplace, top right workplace in the model visualization, below working model detail)

## 6. Závěr

Implementace počítačové simulace do kusové a malosériové strojírenské výroby je složitý proces skládající se z několika fází, jehož věrohodné přínosy jsou závislé především na věrohodnosti vstupních dat. Po úspěšné validaci digitálního modelu a přenesení výsledků optimalizačních experimentů do reálného výrobního procesu se počítačová simulace může stát velmi mocným nástrojem pro efektivní výkon řídicích procesů společnosti.

## Literatura

- [1] KIMURA, Fumihiko ; MITSUISHI, Mamoru ; UEDA, Kanji . *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier : The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26-28, 2008, Tokyo, Japan* [online]. London : Springer, 2008 [cit. 2010-10-24].
- [2] LEEDER, Edvard. *Odbornecasopisy* [online]. 2010 [cit. 2010-10-24]. Digitální továrna – mocný nástroj pro průmyslovou výrobu. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=37514](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37514)>
- [3] Digitální továrna – mocný nástroj pro průmyslovou výrobu . *AUTOMA* [online]. 2008, 4, [cit. 2010-09-22]. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=37514](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37514)>.
- [4] *Digitov* [online]. 2008 [cit. 2010-09-22]. Digitální továrna. Dostupné z WWW: <[http://www.digitov.zcu.cz/digitalni\\_tovarna.php](http://www.digitov.zcu.cz/digitalni_tovarna.php)>.
- [5] *Designtech* [online]. 2006 [cit. 2010-09-22]. Navrh-robotizovanych-pracovist. Dostupné z WWW: <<http://www.designtech.cz/c/plm/navrh-robotizovanych-pracovist-1-dil.htm>>
- [6] Osterloh, J.: *IT-Systems in Production Management*. Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, 2007. 43s. [http://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/www\\_content/en/7ab8e31a4ca7f394c1256fb700481ac7/pm\\_ii\\_v1.pdf](http://www.wzl.rwth-aachen.de/cms/www_content/en/7ab8e31a4ca7f394c1256fb700481ac7/pm_ii_v1.pdf)
- [7] BRAZ, José; ARAÚJO, Helder; VIEIRA, Alves. *Informatics in control, automation and robotics I* [online]. Dordrecht, The Netherlands : Springer, 2006 [cit. 2010-10-21].
- [8] *Pharmacim* [online]. 2009 [cit. 2010-09-22]. Quality. Dostupné z WWW: <<http://www.pharmacim.fr/?ru=UTILS&se=QUAL&ct=&m2=10&ms=21>>.
- [9] Cameron, I.T., Ingram, G.D.: *A survey of industrial process modelling across the product and process lifecycle*. Computers and Chemical Engineering, Volume 32, 2008. p. 420-438

## Abstract:

### COMPUTER SIMULATION IN MANUFACTURING ENGINEERING

VOLF Luděk, Ing., Center of Industrial Simulation, Department of Machining, Process Planning and Metrology, Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

BERÁNEK Libor, Ing., Carl Zeiss Measure and Training Center, Department of Machining, Process Planning and Metrology, Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

MIKEŠ Petr, Ing., Carl Zeiss Measure and Training Center, Department of Machining, Process Planning and Metrology, Faculty of Mechanical Engineering, CTU in Prague

Computer simulation is one of the tools of the digital factory. Simulation in manufacturing engineering can be used as a means of design and optimization of manufacturing processes and systems, mainly the reduction of production and investment costs, the ability to fulfill production plans, examining the effects of the proposed innovation, etc., generally for increasing the competitiveness of fully globalized field of mechanical engineering. In order to prove and quantify these benefits computer simulations must be conceptual and successfully implemented into the manufacturing process, which is addressed in this paper.

Key words: computer simulation, implementation, optimization, manufacturing process

