

# Počítačová simulace v oblasti navrhování a optimalizace výrobních systémů

Ing. Luděk Volf

## **Abstrakt**

Príspevek se zabývá využitím nástrojů z oblasti simulačního modelování výrobních systémů při řešení návrhů a optimalizace výrobních systémů v zakázkovém typu strojírenské výroby. V současnosti je kladen důraz na štihlou a agilnost výrobních firem, nízké náklady, pružnost výroby a především rychlé reakce na změnu přání zákazníků a plnění dodavatelů a to vše nejlépe bez prodlev, v reálném čase. Tyto komplexní požadavky je možné zastřešit pouze počítačovými systémy, které jsou schopny plánování a řízení výroby on-line zabezpečit a především poskytnout predikci sledovaných parametrů výroby na základě provedených změn. Počítačové systémy, potažmo počítačovou simulaci, však můžeme využít již na samém počátku tvorby výrobního systému a dále během jeho provozu jako nástroj skokové nebo průběžné optimalizace.

## **Klíčová slova**

simulace, digitalizace, modelování, výrobní systém, CIM, PlantSimulation

## **1. Úvod**

Kvůli zásadnímu nárůstu globalizace tržní ekonomiky v posledních letech a jejímu předpokládanému zintenzivňování i do budoucna, nabývá na významu zakázkový typ výroby ve všech průmyslových oblastech, včetně strojírenství. Vzhledem k vysoké konkurenci, jsou výrobci nuceni na zakázkové výroby ze sériových přecházet anebo se na ni přímo specializovat<sup>1</sup>.

Zakázková výroba vyžaduje specifický přístup k systému plánování a řízení výroby a do centra pozornosti se dostávají zásadní faktory ovlivňující celý výrobní proces – **co, z čeho, kdy, kde, v jakém množství, na jakém stroji, pomocí koho, s jakými náklady a ziskem vyrobit**. Situace se stává mnohem složitější při nutné realizaci více souběžných zakázek a jejich řízení.

Stav výpočetní techniky dnes již umožňuje vytvoření virtuálních modelů zakázkových výrob, jejichž studiem bude možné identifikovat hlavní faktory ovlivňující proces výroby a následně vytvořit metodiku pro jejich optimalizaci. Bez odhalení těchto faktorů a jejich vlivů nefunguje princip štíhlé výroby (**lean production**), není možné v zakázkové výrobě přistoupit k její racionalizaci a rozšíření produkce bez vynaložení zbytečných vícenákladů, které konkurenceschopnost firem výrazně snižují. Aby bylo možné zodpovědně a věrohodně v libovolném okamžiku sledovat a predikovat chování všech činitelů, které proces zakázkové výroby ovlivňují, je nutné systémy virtuálních a simulačních modelů plně integrovat do informačního systému podniku. To si malé a střední průmyslové podniky velmi dobře uvědomují a analýza, modelování a simulace efektivního řízení zakázkové výroby se stává středem jejich zájmu.

---

<sup>1</sup> [4] KAVAN, M.: *Výrobní a provozní management*. Grada Publishing, Praha, 2002. s. 117-158. ISBN 80-247-0199-5

V současné době na trhu rychlým tempem roste poptávka po simulačních softwarech, odpovídajícím způsobem roste i nabídka takových produktů<sup>2</sup>. Přes tento na první pohled správný trend však výrobci softwaru obvykle nejsou schopni prokázat reálné hmatatelné výhody svých programů a ani uživatelé nemají k dispozici metodiku vhodnou pro porozumění a následné využití modelů svých výrob, neví které podmínky sledovat a jak interpretovat jejich chování a vlivy. Následná racionalizace výrobního procesu je proto velmi složitá a pozitivní efekt se dostaví pouze v omezeném rozsahu, často náhodně.

## 2. Popis problematiky

Zakázková výroba ve strojírenství v posledních letech získává na důležitosti, především kvůli enormní konkurenci v téměř již každém sektoru trhu. Hlavním specifikem zakázkové výroby je **vysoká kastomizace**, spolu s nízkým počtem jí odpovídajících výrobků. Aby byla výrobní firma konkurenceschopná a neživořila na okraji trhu, kvalitní marketing musí následovat kvalitní systém plánování a řízení výroby. V dnešní době je kladen důraz na štihlost a agilnost firmy, nízké náklady, pružnost výroby a především rychlé reakce na změnu přání zákazníků a plnění dodavatelů a to vše nejlépe bez prodlev, v reálném čase. Tyto komplexní požadavky je možné zastřešit pouze počítačovými systémy, které jsou schopny plánování a řízení výroby on-line zabezpečit a především poskytnout predikci sledovaných parametrů výroby na základě provedených změn.

Ocitáme se v oblasti tzv. Computer Integrated Manufacturing (**CIM**), počítači podporované (integrované) výroby. CIM je filosofií celého systému řízení výrobního podniku, nasazením informačních technologií do všech činností výrobní a inženýrské praxe od návrhu a tvorby výrobku až po jeho expedici s cílem snížení materiálové a energetické náročnosti, snížení zásob, zvýšení produktivity práce, zkrácení průběžné doby vývoje a výroby, zvýšení časového a výkonového využití výrobních zařízení a zvýšení kvality výrobků a výroby<sup>3</sup>.

Pomocí digitalizované formy informačních toků můžeme vytvořit mechanismus rozhodovacích, sledovacích a vyhodnocovacích funkcí, které umožní optimalizovat výrobní proces včetně finálních výrobků. CIM chápeme jako systém umožňující vyjádření, specifikaci a vizualizaci všech rozhodovacích a procesních činností výrobního procesu prostřednictvím dat a jejich vzájemné propojení a využití datových souborů u jednotlivých uživatelů systému<sup>4</sup>.

V rámci výrobního systému se musí skloubit velmi mnoho různých informací, znalostí, metod, prací, zařízení a logistických konceptů, jako jsou informace o výrobku, výrobní plány, montážní postupy, simulace procesů<sup>5</sup> a průběhů, náklady, projektové řízení, dokumentace, logistika a především je nutné dělat maximum procesů paralelně. Zde se dostáváme k pojmům Product Data Management (**PDM**) a

Product Lifecycle Management (**PLM**), které jsou hlavní součástí CIM a zastřešují části digitální fabriky - digitální design (**CAD/CAM/CAE**),

digitální plánování (**ERP**),

digitální výrobu (**MPM**).

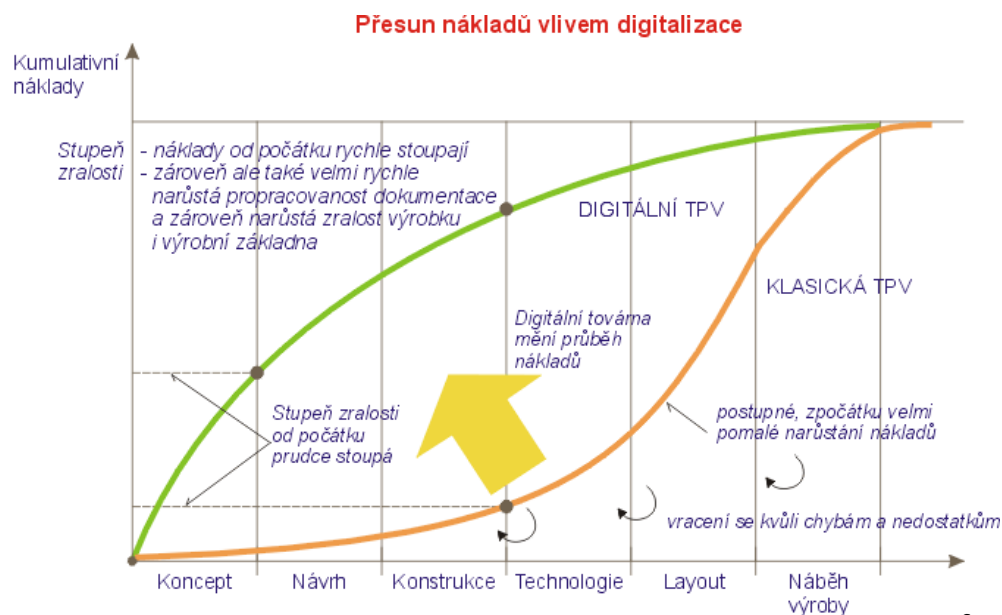
---

<sup>2</sup> [9] KOŠTURIÁK, J., GREGOR, M., MIČIETKA, B., MATUSZEK, J.: *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilinská univerzita v Žiline, 2000. 397 s. ISBN 80-7100-553-3

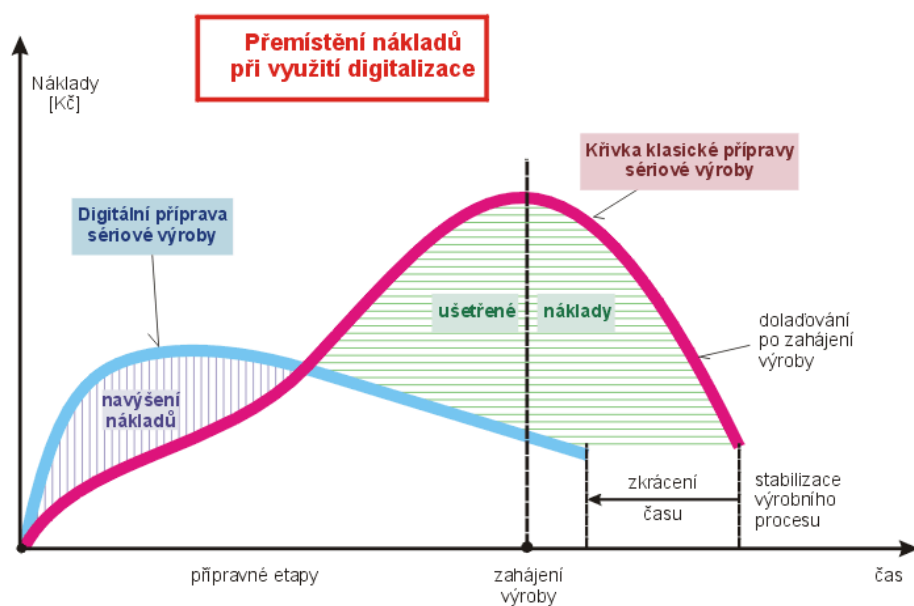
<sup>3</sup> [7] MOLNÁR, Z.: *Počítačem integrovaná výroba – CIM*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 1995. str. 9.

<sup>4</sup> [3] ZELENKA, A.: *Projektování výrobních procesů a systémů*. ČVUT v Praze, 2007. str. 18.

<sup>5</sup> [10] 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



**Obr. 2.1.** Vliv zavedení CIM na stupeň zralosti výrobku a náklady<sup>6</sup>



**Obr. 2.2.** Počáteční zvýšené náklady na zavedení CIM jsou kompenzovány již během přípravy výroby, kterou navíc zásadním způsobem zkracují<sup>6</sup>

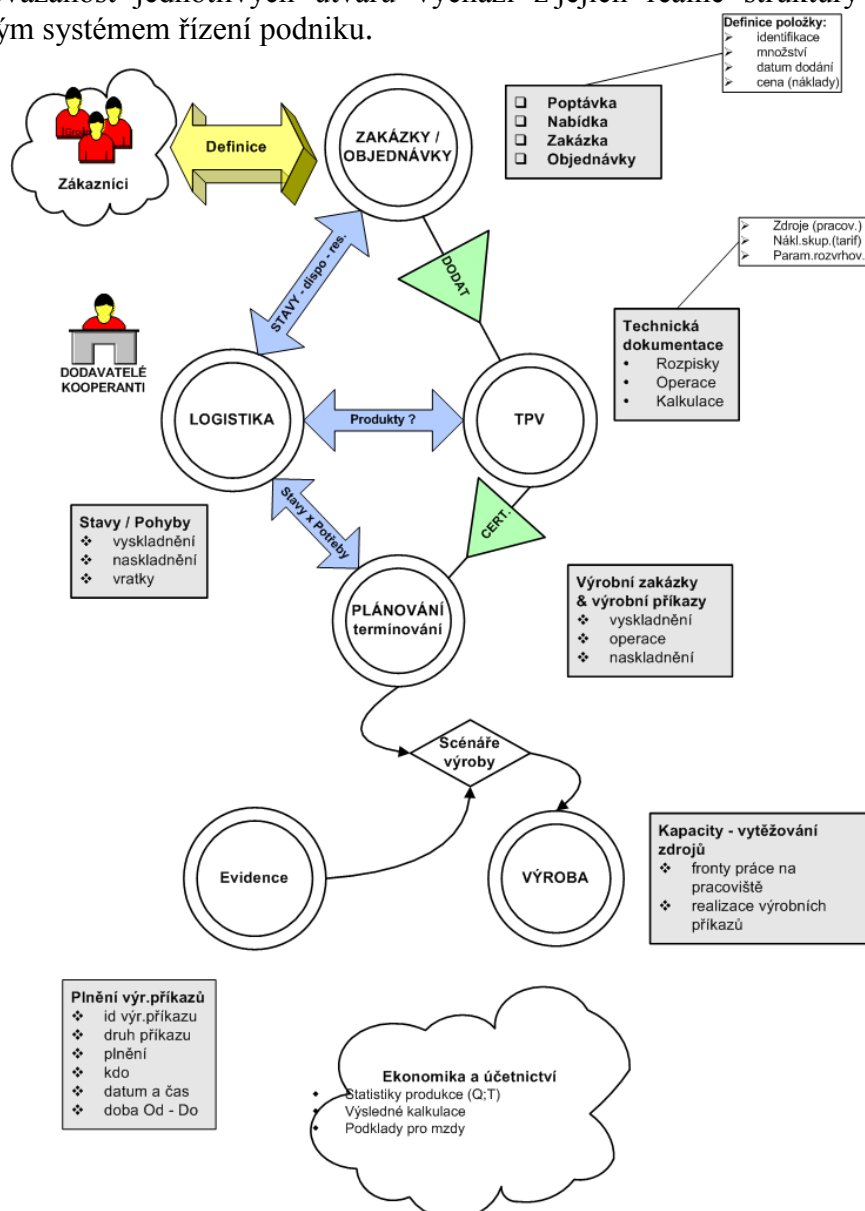
Publikované účinky digitální fabрики v oblasti automobilového a leteckého průmyslu<sup>6</sup>:

- rychlejší náběh výroby až o 15%
- celková vyšší produktivita až o 10%
- zvýšení produktivity stávajících výrobních zařízení až o 20%
- snížení počtu výrobních zařízení, nástrojů a periférií až o 40%
- snížení investičních nákladů na nová výrobní zařízení až o 20%
- zkrácení projektových časů až o 20%

Jak je patrné z uvedených údajů, dopady zavedení CIM jsou zásadní jak v oblasti snížení celkových nákladů jak na vývoj, tak i výrobu produktu, stejně tak i na zkrácení času uvedení produktu na trh<sup>6</sup>. Zde bych upozornil na fakt, že z dostupných zdrojů zatím není prokazatelný podobný efekt v případě zakázkové výroby, kde bude především zavedení CIM podle mého názoru obtížnější vzhledem k finanční náročnosti pořízení potřebných programů, tak k nutnosti jejich obsluhy kvalifikovanou obsluhou.

Návrh integrovaného systému technické přípravy výroby, Obr. 2.3, zpracovala skupina ASEPO SW, která je součástí společnosti CPE Group, <http://www.cpe.cz>. V otázkách modelování výrobních procesů s firmou ASEPO SW na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulty strojní ČVUT v Praze, spolupracujeme.

Schéma ukazuje jedno z prvních komplexních řešení problematiky řízení zakázkové výroby, provázanost jednotlivých útvarů vychází z jejich reálné struktury při průchodu zakázky celým systémem řízení podniku.

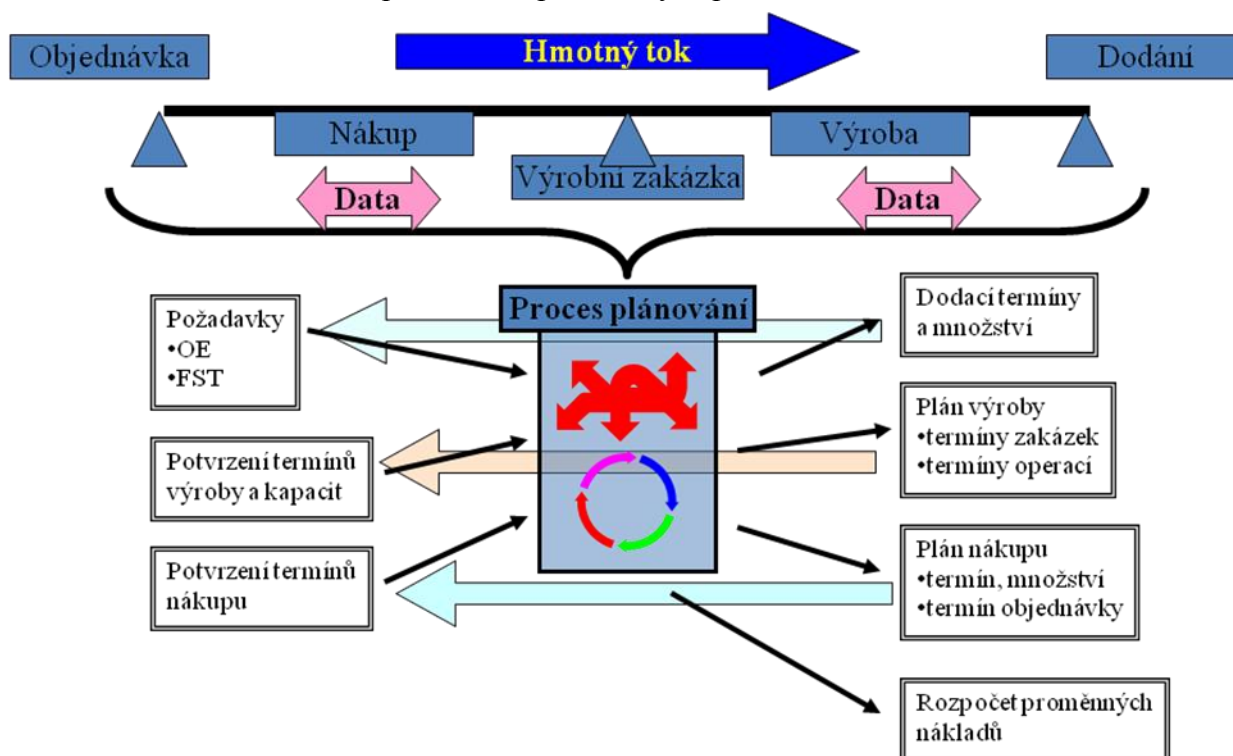


**Obr. 2.3. Základní schéma vazeb útvarů TPV a posloupnost zpracování datových souborů<sup>7</sup>**

<sup>6</sup> [11] PARK, B.J., CHOI, H.R.: A Genetic Algorithm for Integration of Process Planning and Scheduling in a Job Shop. Lecture Notes in Computer Science, 2006. p. 647-657. ISSN 1611-3349

<sup>7</sup> [3] ZELENKA, A.: Projektování výrobních procesů a systémů. ČVUT v Praze, 2007. str. 19.

Další řešení reálně fungujícího modelu CIM představila firma Walter Engines, zabývající se výrobou leteckých motorů a jejich příslušenství, na 11. ročníku mezinárodního semináře Modelování a optimalizace podnikových procesů 2008.



**Obr. 2.4.** Schéma zpracování zakázky ve firmě Walter Engines<sup>8</sup>

Strojírenské firmy jsou nuceny neustále hledat optimální řešení pro řízení výrobních procesů kvůli minimalizaci rizika chybných rozhodnutí. Jedním z nástrojů, které toto umožňují, jsou metody simulace. Simulační model výrobních procesů a systémů je součástí systému Advanced Planning and Scheduling (APS), systému pokročilého plánování a rozvrhování. Po zavedení APS může dojít k těmto zlepšením<sup>9</sup>:

- snížení zásob materiálu a rozpracované výroby
- zvýšení využití strojního vybavení
- zkrácení dodací lhůty zákazníkům
- možnost simulace a modelování "what, if..."
- možnost plánování s omezenými kapacitami a skutečnou dostupností materiálu
- plánování na alternativní zdroje (pracoviště)
- plánování alternativních materiálů
- reálně splnitelná fronta práce na (téměř) všech pracovištích
- interaktivní ovládání a hloubková analýza dat
- zvýšení rychlosti plánování a výpočtů
- zvýšení průtočnosti (tržeb), příchod nových zákazníků

Z dosavadního přehledu je patrné, že problematika počítači podporovaných výrob je více než aktuální a z některých informací již lze dojít ke kvantifikovatelným důsledkům jejího nasazení. Zatím však existuje mnoho bílých míst, která v CIM a potažmo ERP nejsou zmapována, především v oblasti zakázkové výroby.

Z výrobního sektoru firem je jasná poptávka po zavádění CIM, současně ale chybí jasná prokazatelnost jejích výhod v zakázkovém typu výroby<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> [5] KOCIÁN, P.: *Prezentace Walter Engines*. WALTER ENGINES a.s. Seminář Modelování a optimalizace podnikových procesů 2008, ZČU Plzeň, 7.2.2008

### 3. Praktický příklad využití simulace

Společnost, pro kterou jsem zpracoval simulační modely svařovacích linek, se zabývá výrobou stavebních manipulačních prostředků a jejich příslušenstvím. Výroba probíhá v nepřetržitém režimu. V současné době jedna z výrobních hal závodu společnosti obsahuje svařecí pracoviště s technologickým uspořádáním. Část pracovišť je organizačně řešena ve čtyřech svařovacích linkách, rozdělených podle předmětu výroby takto:

1. linka = svařence do 50kg (5 pracovišť)
2. linka = svařence s převážujícím podélným rozměrem v poměru nad 1:2,5, do 200kg (4 pracoviště)
3. linka = svařence skříňového tvaru s vyrovnaným poměrem stran, do 200kg (4 pracoviště)
4. linka = svařence prostorového tvaru, nad 200kg (3 pracoviště)

Všechny čtyři linky jsou zásobovány nezávisle na sobě a jejich výrobní procesy nejsou propojeny ani navázány. Mezioperační manipulace s materiálem je zajišťována kombinací ručních a elektrických vozíků a dílenských stojanových jeřábů pro ustavení polotovarů do pracovního prostoru. U každého pracoviště máme k dispozici jednotkové časy, dávkové časy (přeseřízení, nastavení), spolehlivost stroje a střední dobu odstranění případné poruchy.

Zásadní problém v této koncepci výrobního systému spočívá především v mezioperační přepravě. Mezi jednotlivými pracovišti polotovar stráví 2 až 240 minut nevýrobními činnostmi, jakými jsou například čekání na přepravku, transportní vozík, uvolnění jeřábu, nadbytečná a svévolná manipulace.

#### 3.1 Záměr pro zlepšení

Aby byly nevýrobní časy minimalizovány nebo zcela eliminovány, navrhl útvar technické přípravy výroby několik variant technicko-organizačního uspořádání stávajících svařovacích linek. Jedním z návrhů bylo odstranění mezioperačního jednokusového zásobníku za současného nahrazení mezioperačních přepravních prostředků manipulačním dopravníkem. Na tomto dopravníku má být polotovar ustaven do přípravku a mezi jednotlivými pracovišti se přesouvat ve stanoveném intervalu (taktu výroby), aby se zamezilo všem neproduktivním časům během dnes neorganizovaného transportu.

#### 3.2 Simulační model

**Vzhledem k obtížné představitelnosti nové koncepce** řešení mezioperační manipulace dopravníkem a především kvantifikaci dopadů tohoto opatření na celkovou produktivitu svařovacích linek, bylo rozhodnuto o vytvoření simulačního modelu stávajícího uspořádání výrobního systému a modelu nového uspořádání. Další zkoumání se mělo zaměřit především na změnu průběžné doby výroby, celkovou produktivitu svařovacích linek a vytížení jednotlivých pracovišť [3].

---

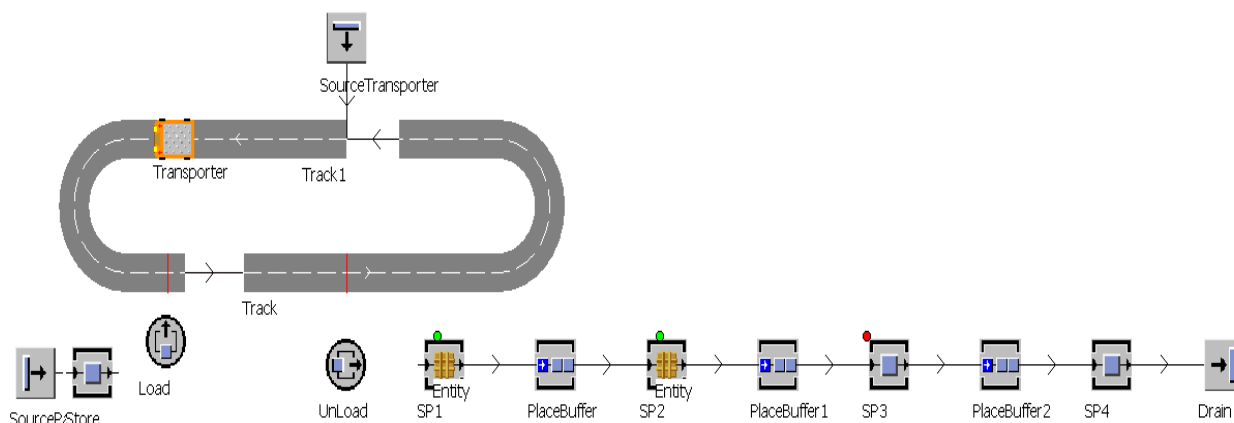
<sup>9</sup> [12] HARRISON, D.K., PETTY, D.J.: *Systems for Planning & Control in Manufacturing*. MPG Books Ltd., Bodmin, Cornwall, 2002. p. 165-172. ISBN 0-7506-49771

Pro vytvoření simulačního modelu jsme použili program **PlantSimulation** ze zastřešujícího balíku programů Tecnomatix společnosti Siemens Product Lifecycle Management Software (CZ) s.r.o.

### Simulační model 2. linky – původní stav

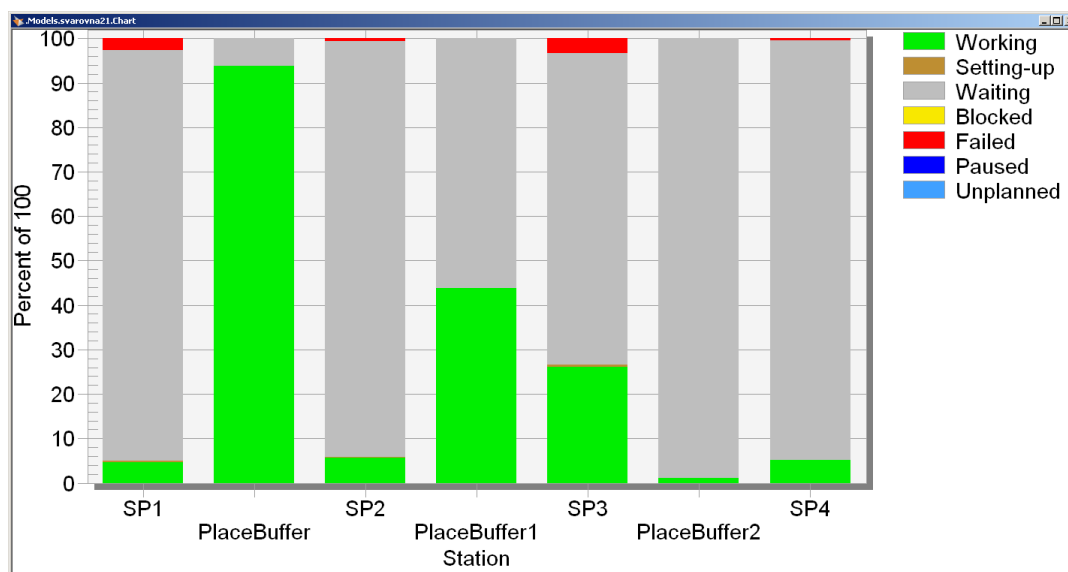
Linka č. 2, Obr. 3.1, pro svařence s převážujícím podélným rozměrem v poměru nad 1:2,5, do 200kg, se skládá ze čtyř pracovišť, mezi kterými jsou umístěny tři mezioperační jednokusové zásobníky. Tato linka se pro účel ukázky jeví nejlépe.

Modely pracovišť (SP) jsou naplněny údaji o výrobním procesu. Jedná se zejména o jednotkové a dávkové časy, spolehlivost stroje a střední dobu odstranění poruch. Zásobníky (PlaceBuffer) charakterizují odkládací prostor pro jeden výrobek a nevýrobní ztrátové časy vzniklé nekoordinovanou nahodilou mezioperační přepravou a jsou naplněny dlouhodobě vysledovanými údaji o ztrátových (neproduktivních) časech.



**Obr. 3.1.** Simulační model 2. linky

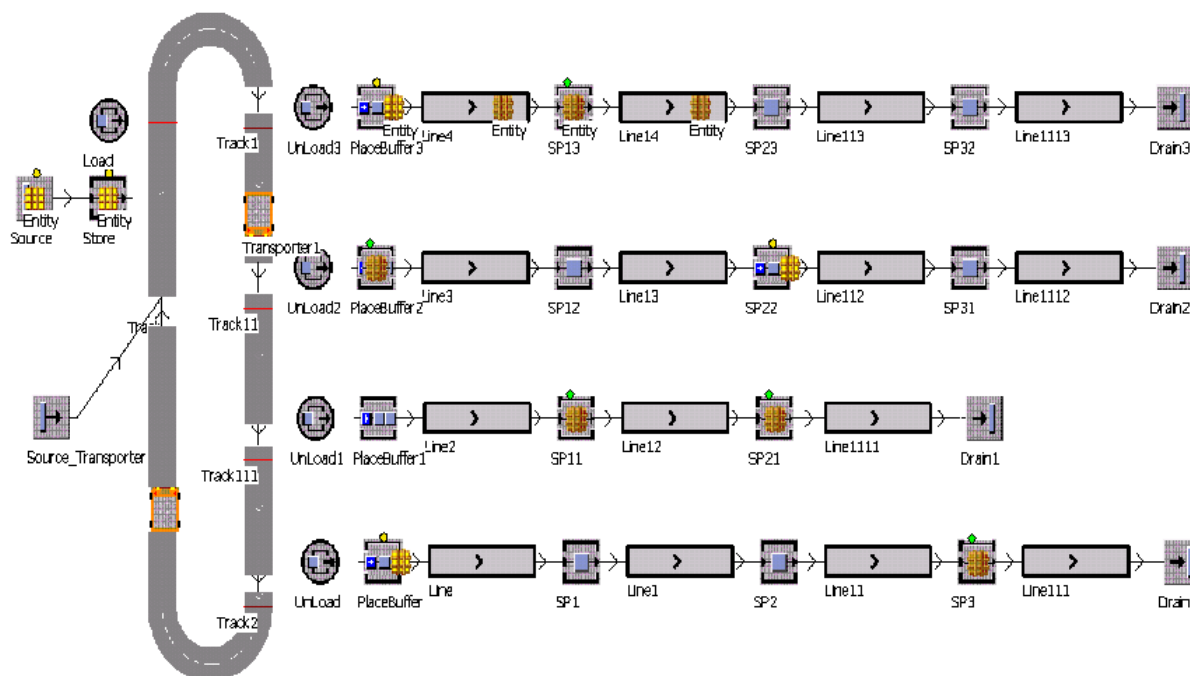
Na Obr. 3.2 vidíme grafické znázornění spotřeby výrobního času jednotlivými pracovišti na 2. lince. Například nejméně vytížené pracoviště SP1 linky pracuje jen 5% směnového času a 92% směnového času je využito zcela neproduktivně čekáním na výrobek z předchozího pracoviště (sklad).



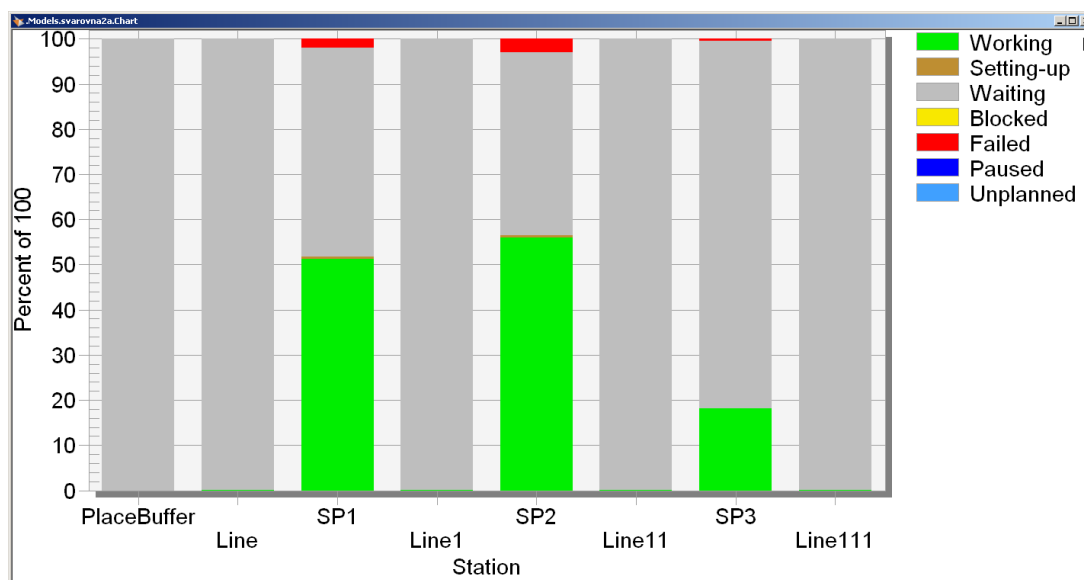
**Obr. 3.2.** Využití výrobního času na 2. lince

## Simulační model – nové uspořádání

V novém návrhu uspořádání svařovacích linek došlo v simulačním modelu k nahrazení všech mezioperačních zásobníků manipulačním dopravníkem, současně bylo navrženo sjednocení několika pracovišť a zásobování všech linek, jak ukazuje Obr. 3.3.



**Obr. 3.3.** Návrh nového uspořádání



**Obr. 3.4.** Využití výrobního času na 2. lince – nové uspořádání

Na Obr. 3.4 vidíme grafické znázornění spotřeby výrobního času jednotlivými pracovišti na 2. lince po zavedení nového uspořádání. Struktura spotřeby času se radikálně změnila, například výše zmíněné pracoviště SP1 linky nyní produktivně pracuje 51% směnového času. Podobný skok ve zvýšení využitelnosti se stal u pracoviště SP2 a dalších

pracovišť ostatních linek. Pro další zlepšení využití směnového času je nutné se zaměřit na proces zásobování materiálem a linky kapacitně vybalancovat.

Zásadní změna nastala v celkové produktivitě linky, viz Tabulka 1.

**Tabulka 1.** - Porovnání hlavních ukazatelů výroby

| svařovací<br>linka<br>č. | produktivita<br>[ks / 24h] |           | průběžná doba výroby 1ks<br>[h:min] |             |
|--------------------------|----------------------------|-----------|-------------------------------------|-------------|
|                          | uspořádání linek           |           | uspořádání linek                    |             |
|                          | stávající                  | nové      | stávající                           | nové        |
| 1                        | 4                          | <b>28</b> | 8:15                                | <b>1:11</b> |
| 2                        | 4                          | <b>17</b> | 8:10                                | <b>1:46</b> |
| 3                        | 38                         | <b>51</b> | 1:11                                | <b>0:24</b> |
| 4                        | 4                          | <b>22</b> | 8:14                                | <b>2:01</b> |

### 3.3 Závěrečné shrnutí

Simulační model měl pomoci ověřit vliv nového technicko-organizačního uspořádání svařovacích linek na průběžnou dobu výroby, potažmo celkovou produktivitu linek.

Vytvoření simulačního modelu bylo vzhledem k dostupným informacím z výrobního systému velmi rychlé. **Vysoká efektivita tohoto přístupu se prokázala při operativním provádění změn v uspořádání výrobního systému a vytváření variantních návrhů řešení.**

Přestože simulační model výrobního systému v prezentovaném případě nevyniká zvláště vysokou složitostí nebo rozsáhlostí, jeho **přínosy jsou zřejmé a jednoznačně prokazatelné**, viz Tabulka 1. Cíl úlohy, posouzení nově navrhovaného dispozičního rozmístění svařovacích pracovišť, se podařilo splnit a vzhledem k širokým možnostem dalšího uplatnění simulačního modelu má zadavatel úlohy zájem o digitalizaci dalších částí svého výrobního systému.

## 4. Závěr

Ve výrobních strojírenských podnicích je jednoznačná poptávka po sofistikovaném řešení, zabývajícím se řízením, simulacemi a následnou optimalizací procesů v oblasti zakázkové výroby. Z dosavadních zkušeností vyplývá, že jednotlivé firmy se touto problematikou pokoušejí zabývat sice dlouhodobě avšak nekonceptně, mnohdy metodami typu pokus-omyl a bez jakékoliv návaznosti na systémy svých dodavatelů či zákazníků.

V tuzemské i zahraniční literatuře byla tato problematika v mnoha případech alespoň z části řešena, ale vždy izolovaně buďto z pohledu čistě ekonomického, jako malá podkapitola strojírenské výroby jako celku nebo z pohledu matematické teorie simulací, ve kterých je opět otázka zakázkové výroby řešena okrajově, jako malá část výrobního procesu zaměřeného spíše na plynulou, sériovou výrobu.

Tematika zakázkové výroby je obecně podceňována, přestože trend rozvoje výrobních firem je v posledních letech jednoznačný – globální konkurence nabývá na zásadní důležitosti, výrobky již nelze produkovat v unifikovaných deseti- a statisícových sériích pro anonymní velké skupiny zákazníky. Výrobci jsou nuceni na zakázkové výroby ze sériových přecházet anebo se na ni přímo specializovat a svůj výrobní program maximálně kastomizovat, dodávat tedy menší série výrobků více různým zákazníkům se specifickými požadavky. Situace se stává mnohem složitější při nutné realizaci více souběžných zakázek a jejich řízení. K tomu od počátku osmdesátých let minulého století vznikaly různé počítačové podpůrné systémy, jejichž užitnost byla velmi omezena, obvykle na statické evidence množství materiálu.

Od počátku dvacátého prvního století je již výpočetní technika s potřebným výkonem běžně dostupná a umožňuje vytváření dynamických virtuálních modelů zakázkových výrob, jejichž studiem bude možné identifikovat hlavní faktory ovlivňující proces výroby a následně vytvořit metodiku pro jejich optimalizaci. Bez odhalení těchto faktorů a jejich vlivů nefunguje princip štíhlé výroby (lean production), není možné v zakázkové výrobě přistoupit k její racionalizaci a rozšíření produkce bez vynaložení zbytečných vícenákladů, které konkurenceschopnost firem výrazně snižují. Aby bylo možné zodpovědně a věrohodně v libovolném okamžiku sledovat a predikovat chování všech činitelů, které proces zakázkové výroby ovlivňují, je nutné systémy virtuálních a simulačních modelů plně integrovat do informačního systému podniku.

### ***Seznam použité literatury***

- [1] KATUŠČÁK, D., MEŠKO, D., FINDRA, J.: *Akademická příručka*, Osveta, Martin, SR, 2005, 496 s., ISBN 80-8063-200-6
- [2] ČSN ISO 690-2: *Bibliografické citace – část 2: Elektronické dokumenty a jejich části*, Český normalizační institut, Praha, 1996
- [3] ZELENKA, A.: *Projektování výrobních procesů a systémů*. ČVUT v Praze, 2007. 136 s. ISBN 978-80-01-03912-0
- [4] KAVAN, M.: *Výrobní a provozní management*. Grada Publishing, Praha, 2002. s. 117-158. ISBN 80-247-0199-5
- [5] KOCIÁN, P.: *Prezentace Walter Engines*. WALTER ENGINES a.s. Seminář Modelování a optimalizace podnikových procesů 2008, ZČU Plzeň, 7.2.2008
- [6] LEEDER, ŠIMON, ČERNÝ, BUREŠ, DIENSTBIER, BEHÚN, GÄRNER: *Digitální fabrika*. KPV, ZČU Plzeň. Seminář Modelování a optimalizace podnikových procesů 2008, ZČU Plzeň
- [7] MOLNÁR, Z.: *Počítačem integrovaná výroba – CIM*. Vydavatelství ČVUT v Praze, 1995. 180 s. ISBN 80-01-01281-6
- [8] VOLF, L.: *Analýza vlivů rozhodujících podmínek pro zakázkovou výrobu*. Souhrnná kritická rešerše, FS ČVUT, Praha 2008. 45s.

- [9] KOŠTURIÁK, J., GREGOR, M., MIČIETKA, B., MATUSZEK, J.: *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilinská univerzita v Žiline, 2000. 397 s. ISBN 80-7100-553-3
- [10] 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
- [11] PARK, B.J., CHOI, H.R.: *A Genetic Algorithm for Integration of Process Planning and Scheduling in a Job Shop*. Lecture Notes in Computer Science, 2006. p. 647-657. ISSN 1611-3349
- [12] HARRISON, D.K., PETTY, D.J.: *Systems for Planning & Control in Manufacturing*. MPG Books Ltd., Bodmin, Cornwall, 2002. p. 165-172. ISBN 0-7506-49771
- [13] BASL, J., VELKOBORSKÝ, J.: *APS a SCM*. Business World 8/2000, s. 22-27. ISSN 1210-9924
- [14] MIKOLÁŠ, Z.: *Jak zvýšit konkurenceschopnost podniku*. Praha, Grada Publishing, 2005, 198s. ISBN 80-247-1277-6
- [15] PRECLÍK, V.: *Průmyslová logistika*. Praha, Nakladatelství ČVUT, 2006. 359 s. ISBN 80-01-03449-6
- [16] TAYFUR ALTIOK: *Performance Analysis of Manufacturing systems*. Springer-Verlag, 1996, 355 s. ISBN 0-387-94773-6
- [17] VOLF, L.: *Metody řízení, simulace a racionalizace zakázkové výroby*. Konference Studentské tvůrčí činnosti STČ 2008, FS ČVUT, Praha 2008. 8s.
- [17] VOLF, L.: *Počítačová podpora při optimalizaci montážních linek*. REQUEST 2009, Liberec 2009. 7s.