

VYUŽITÍ SIMULAČNÍHO MODELOVÁNÍ V TECHNOLOGICKÉM PROJEKTOVÁNÍ

Výukové podklady
Technologické projektování (HT1)



Odbor technologie tváření kovů a plastů
Ústav strojírenské technologie
Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně





Využití simulačního modelování v technologickém projektování

Výukové podklady pro předmět Technologické projektování (HT1)

Výukové podklady jsou určeny pro studenty předmětu „Technologické projektování“ (HT1), magisterského studijního programu, oboru Strojírenská technologie.

Vypracoval:

Ing. Matúš Varjan

Na vypracování se podíleli: Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

Ing. Ivo Dohnal

Brno, 2012



PODĚKOVÁNÍ

Výukové podklady vznikly za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy a Rady vysokých škol jako projekt Fondu rozvoje vysokých škol, pod označením G1/2433.

Řešitelé projektu děkují za finanční podporu.



KLÍČOVÁ SLOVA

simulace, model, simulace diskrétních událostí

KEY WORDS

simulation, model, discrete-events simulation



OBSAH

1	Úvod	5
2	Technologické projektování	6
3	Simulační modelování.....	7
3.1	Simulace	7
3.2	Model.....	7
3.2.1	Klasifikace modelů.....	7
3.2.2	Zachycení dynamických vlastností	8
3.2.3	Simulační běh	8
3.3	Využití simulací diskrétních událostí.....	8
3.3.1	Výhody simulace diskrétních událostí	9
3.3.2	Nevýhody simulace diskrétních událostí.....	9
3.4	Základní princip simulace	10
4	Metodika tvorby simulací diskrétních událostí	11
4.1	Vysvětlení některých pojmů	12
4.1.1	Verifikace	12
4.1.2	Validace	12
4.1.3	Simulační experiment.....	12
5	Simulační programy	13
5.1	WITNESS.....	13
5.1.1	Pracovní plocha.....	13
5.1.2	Knihovna elementů	14
6	Ukázka praktického příkladu.....	15

Seznam použité literatury

Seznam obrázků



1 ÚVOD

Výukové podklady s názvem „Využití simulačního modelování v technologickém projektování“ jsou určeny zejména studentům předmětu „Technologické projektování“, magisterského studijního programu oboru Strojírenské technologie, který je garantován Ústavem strojírenské technologie, Fakulty strojního inženýrství, Vysokého učení technického v Brně.

Hlavním cílem výukových podkladů je seznámit studenty s problematikou simulačního modelování.

Tento dokument je rozdělen do několika na sebe navazujících kapitol. Jednotlivé kapitoly seznamují čtenáře s problematikou simulačního modelování a jeho využitím v praxi.

Studium začíná vymezením pojmu technologické projektování. Definuje jeho náplň, rozsah působnosti, uvádí možné výstupy a dále předmět zkoumání. Následně pak definuje základní pojmy, jako je výrobní proces a materiálový tok.

Další kapitola se už zabývá problematikou simulačního modelování. Definuje základní pojmy, jako je simulace a model. Model následně klasifikuje z hlediska časové faktoru a náhodných jevů.

Dále je popsáno, kde může být simulace využita. Tato část také pojednává o výhodách a nevýhodách simulačního modelování.

Před samotnou metodikou tvorby simulačních modelů je popsán základní princip simulace. Hlavním prvkem této metodiky je procesní diagram, který obsahuje hlavní aktivity simulační studie od zahájení až po ukončení simulačního projektu.

Závěr výukových podkladů je věnován simulačním programům a prezentaci příkladu, který byl pomocí simulace řešen v praxi.

2 TECHNOLOGICKÉ PROJEKTOVÁNÍ

„**Technologické projektování** je možno chápat jako kontinuální tvořivou činnost technicko-ekonomického charakteru, která především spočívá v analyzování, plánování, navrhování a zpracování podmínek pro optimální využití všech dostupných hmotných zdrojů materiálů, energie, prostoru, prostředků (výrobních, kontrolních, manipulačních), pracovních sil atd., které ovlivní efektivnost výrobního procesu.“ [1]

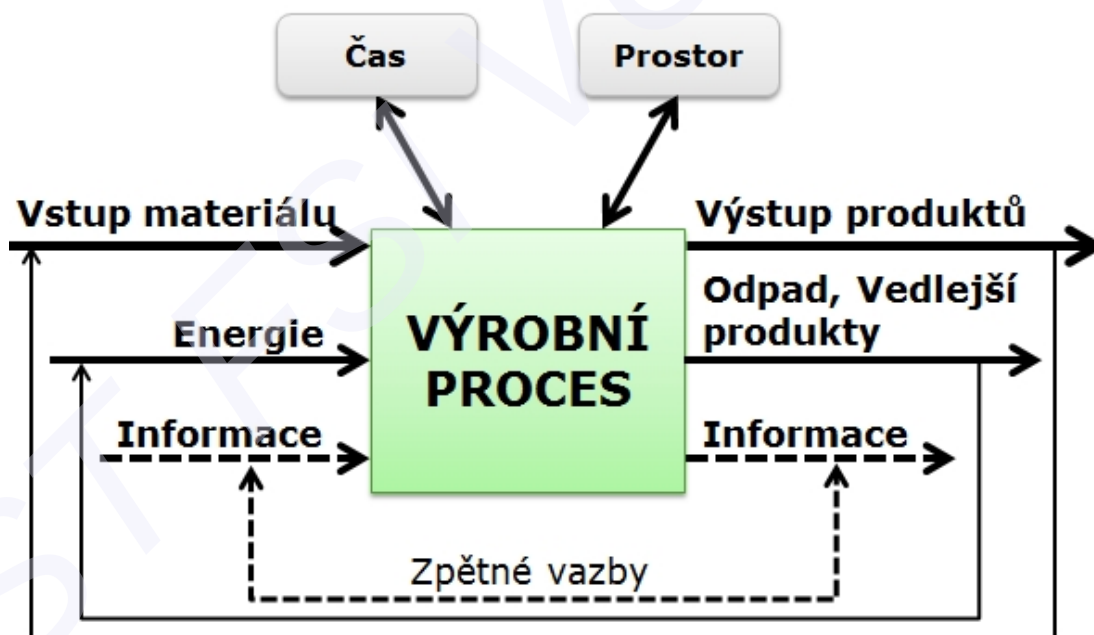
Obtížnost a rozsáhlost technologického projektování si vyžaduje systémový přístup k daným úkolům, které mají v určité návaznosti vytvořit jeden logický celek. Mezi jednotlivými úlohami tak existují vzájemné vztahy jako faktory výrobního procesu nejen mezi sebou, ale i ve vztahu k okolí. [2]

Dosažené výsledky technologického projektování se odevzdávají k realizaci ve formě technologické a projektové dokumentace. [1]

Součástí dokumentací se krom známých grafických a grafoanalytických metod (např. P-Q diagram, Sankeyov diagram, šachovnicové tabulky, křížové tabulky vztahů atd.), stávají také výstupy ze simulačních modelů. Tyto výstupy slouží především jako podpora pro výběr optimální varianty navrhovaného projektu.

Technologické projektování se tak zabývá výrobními procesy a zkoumáním materiálových toků.

Výrobní proces je souhrn pracovních, technologických a přírodních procesů, jejichž účelem je měnit tvar, složení, jakost a spojení pracovních předmětů za účelem získání užitečné hodnoty, tj. strojírenského výrobku. [1] Model výrobního procesu je na obrázku 1.



Obrázek 1 – Model výrobního procesu [3]

Materiálový tok znamená pohyb materiálu ve výrobním procesu nebo v oběhu, prováděný pomocí aktivních prvků (manipulačních dopravních, přepravních a pomocných prostředků) cílevědomě tak, aby materiál byl k dispozici na daném místě a v potřebném množství, nepoškozený v požadovaném okamžiku, a to s předem určenou spolehlivostí. [4]

3 SIMULAČNÍ MODELOVÁNÍ

3.1 Simulace

Simulace je zobrazení plánovaného nebo reálného systému s jeho dynamickými procesy prostřednictvím modelu. Prostřednictvím experimentování se simulačním modelem se snažíme získat poznatky, které je možné uplatnit ve výrobě. [5]

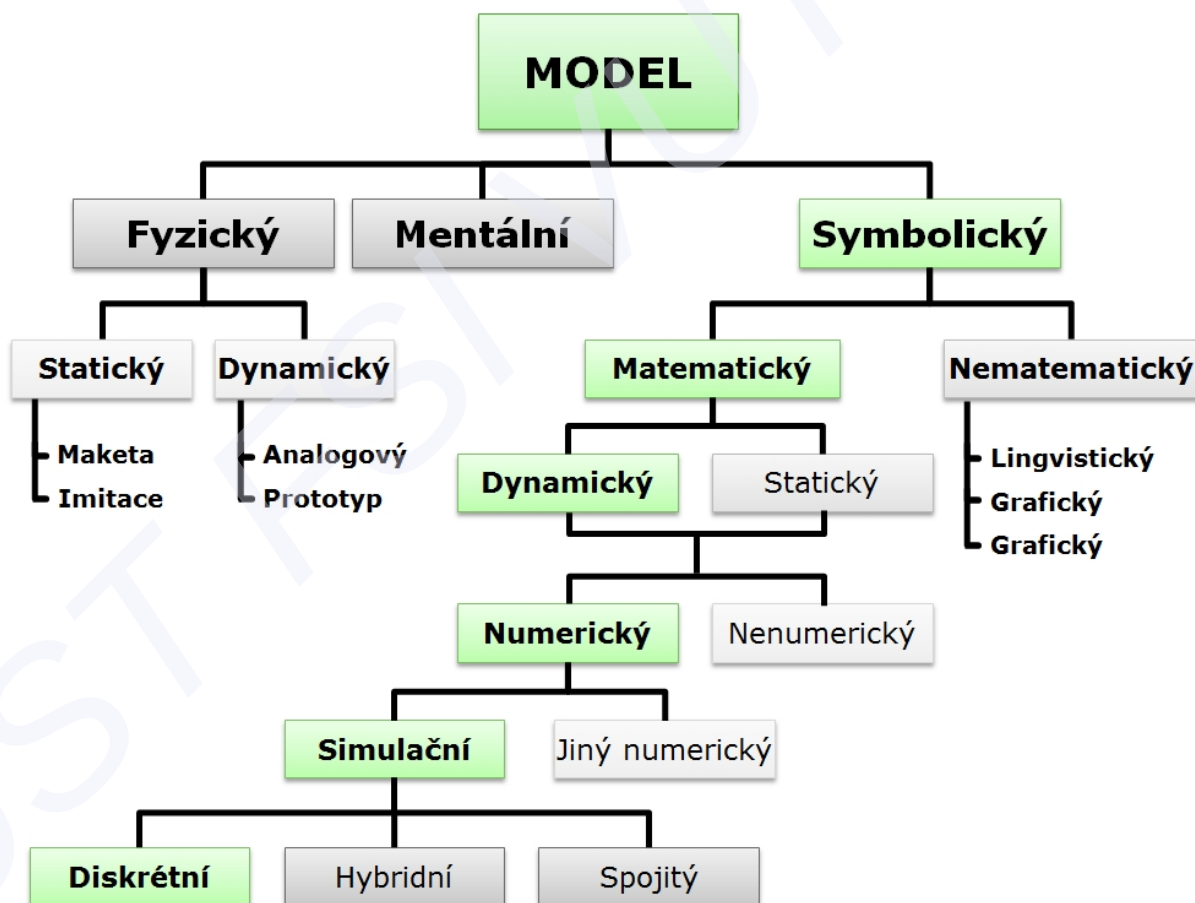
V širším slova smyslu se simulace spojuje s přípravou, realizací a vyhodnocováním konkrétních experimentů pomocí simulačního modelu. [5]

3.2 Model

Model je zde chápán jako zjednodušená napodobenina plánovaného nebo reálného systému s jeho klíčovými procesy. Odlišnost od originálu ve významných vlastnostech je dán stanovenou tolerancí. [6]

3.2.1 Klasifikace modelů

Simulační modelování technologického projektování využívá model klasifikovaný jako **diskrétní model**. Od tohoto názvu se odvozuje pojem **simulace diskrétních událostí** (z angl. Discrete-events simulation). Úplná klasifikaci modelů je na obrázku 2.



Obrázek 2 – Klasifikace modelů [8]

Simulace diskrétních událostí zaznamenávají změny stavových veličin modelu v samostatných časových bodech. Tyto stavové veličiny se v časovém bodě mění okamžitě za podmínky, že ji mohl změnit stav systému. [7]

Čas tak neprobíhá kontinuálně, ale mění se skokově od jedné události ke druhé, tj. v diskrétních časových okamžicích.

Simulace spojitá nabírá vlastnosti jak simulace diskrétní, tak i simulaci spojitě.

Rozdělení na simulace diskrétní, spojitě a kombinované je z hlediska zachycení časového faktoru.

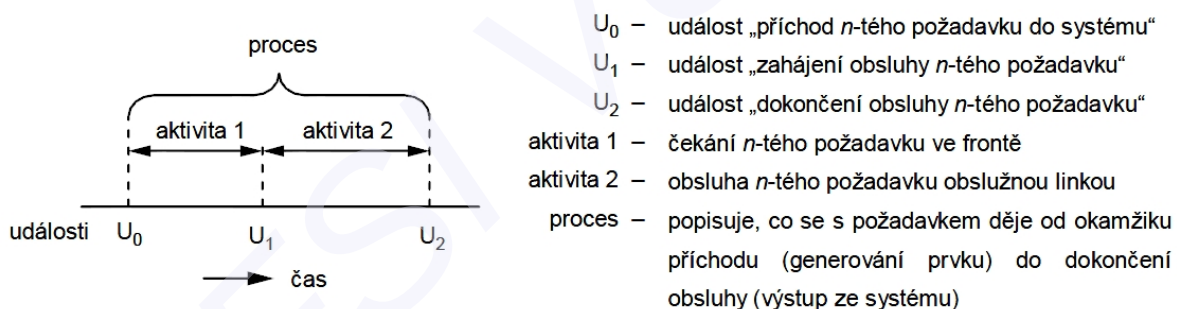
Z hlediska zahrnutí náhodných jevů do simulačního modelování se modely dále rozdělují na deterministické a stochastické.

Deterministické modely jsou modely, do kterých nejsou zahrnuty náhodné veličiny. **Stochastické modely** jsou modely pravděpodobnostní, tzn. alespoň jeden jeho výsledek se řídí podle pravděpodobnostní funkce.

„Rozdíl mezi deterministickými a stochastickými modely se projevuje až ve fázi zpracování, vyhodnocování a interpretace výsledků, protože výsledky získané na základě stochastických modelů je třeba považovat za hodnoty náhodných veličin.“ [9]

3.2.2 Zachycení dynamických vlastností

Jak již bylo zmíněno, simulace diskrétních událostí zachycují dynamické vlastnosti, resp. změnu stavu modelu v diskrétních okamžicích. Z tohoto důvodu můžeme simulační čas měnit po krocích, protože stav modelu zůstává mezi okamžiky výskytů událostí nezměněn. Délka kroků je dána intervaly mezi výskytů po sobě následujících událostí. [9]



Obrázek 3 – Zachycení dynamických vlastností [9]

3.2.3 Simulační běh

Simulačním během se rozumí zobrazení chování systému pomocí simulačního modelu v rámci předem určeného časového rozmezí. [5]

3.3 Využití simulací diskrétních událostí

Simulace diskrétních událostí může být obecně využita pro: [10]

- analýzu dynamického chování složitého projektovaného nebo reálného výrobního systému za pomoci počítačového modelu,
- analýzu citlivosti získaného řešení za změnu různých parametrů modelu (tzv. What-if analýza – „Co se stane, když ...?“),
- srovnání výkonnosti různých variant uspořádání systému podle zadaných kritérií pro optimalizaci systému,

- nahrazení experimentu s výrobním systémem, který nelze uskutečnit v praxi, experimentem na počítači.

V praxi se tyto simulace využívají zejména: [10]

- k optimalizaci rozsáhlých výrobních systémů s cílem:
 - zkrátit výrobní proces,
 - minimalizovat náklady,
 - zvýšit produktivitu,
 - zlepšit přidělování zdrojů,
 - připravit projekty nových výrobních systémů,
 - navrhnout dispoziční uspořádání výrobních zařízení v prostoru atd.
- k analýze logistických procesů v podniku a v prostředí logistických skladů s cílem:
 - snížit nutné zásoby a nedokončenou výrobu,
 - minimalizovat riziko vzniku nepokrytí požadavků výrobce dodavatelem atd.
- k optimalizaci pravidel skladování, např. zlepšit systém manipulace s materiálem či s výrobky, zvýšit propustnost příjmu expedice,
- k vytvoření systému řízení logistických procesů,
- k rozvrhování výroby z hlediska plánování výroby,
- k simulaci složitých odstávek výrobních zařízení při plánované údržbě.

3.3.1 Výhody simulace diskrétních událostí

Výhody simulace:

- „Poskytuje základ pro rozhodování (podpora rozhodovacích procesů)
- čas v simulovaném systému může být „flexibilně“ měněn (rychlost, zpětný běh...),
- porozumění komplexních dynamických systémů a fenoménů,
- šetření alternativ a různých možností,
- identifikace souvislostí v rámci simulovaného systému,
- odhalení úzkých míst,
- vizualizace,
- podpora porozumění (funkce) systému,
- možnost určit předem investiční náklady,
- trénink spolupracovníků (zaměstnanců),
- zviditelnění/zvýraznění (systémových) požadavků.“ [11]

3.3.2 Nevýhody simulace diskrétních událostí

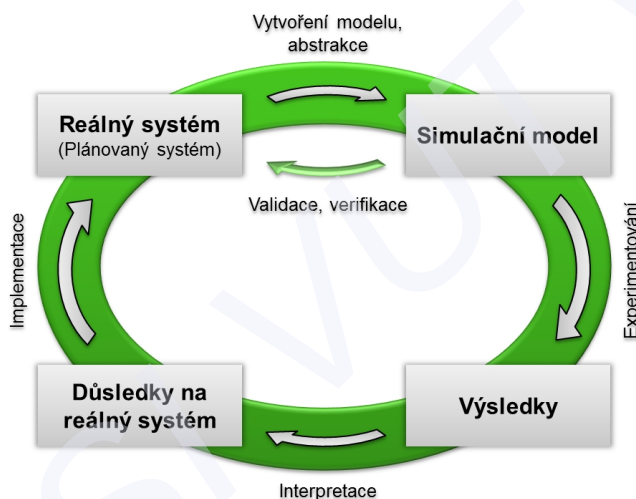
Nevýhody simulace:

- „Nutnost know-how pro tvorbu simulačních modelů,
- různí lidé mohou vytvořit různé modely (simulace je částečně uměním, kdy neexistuje jediné správné řešení, resp. postup, na rozdíl od např. matematiky),
- těžce interpretovatelné výsledky simulačních experimentů,
- zdouhavá a nákladná tvorba simulačního modelu a jeho analýza,
- riziko nesprávného použití simulace,
- rozdíl mezi reálným systémem a simulačním modelem (daný již koncepcí simulace),

- *chybějící transparentnost modelu,*
- *nedostatečná databáze (zdroj informací pro tvorbu modelu),*
- *neodhalené chyby zanesené do modelu ve fázi jeho tvorby,*
- *neoprávněná důvěra (spoléhání se) ve (na) výsledky simulačních experimentů.“ [11]*

3.4 Základní princip simulace

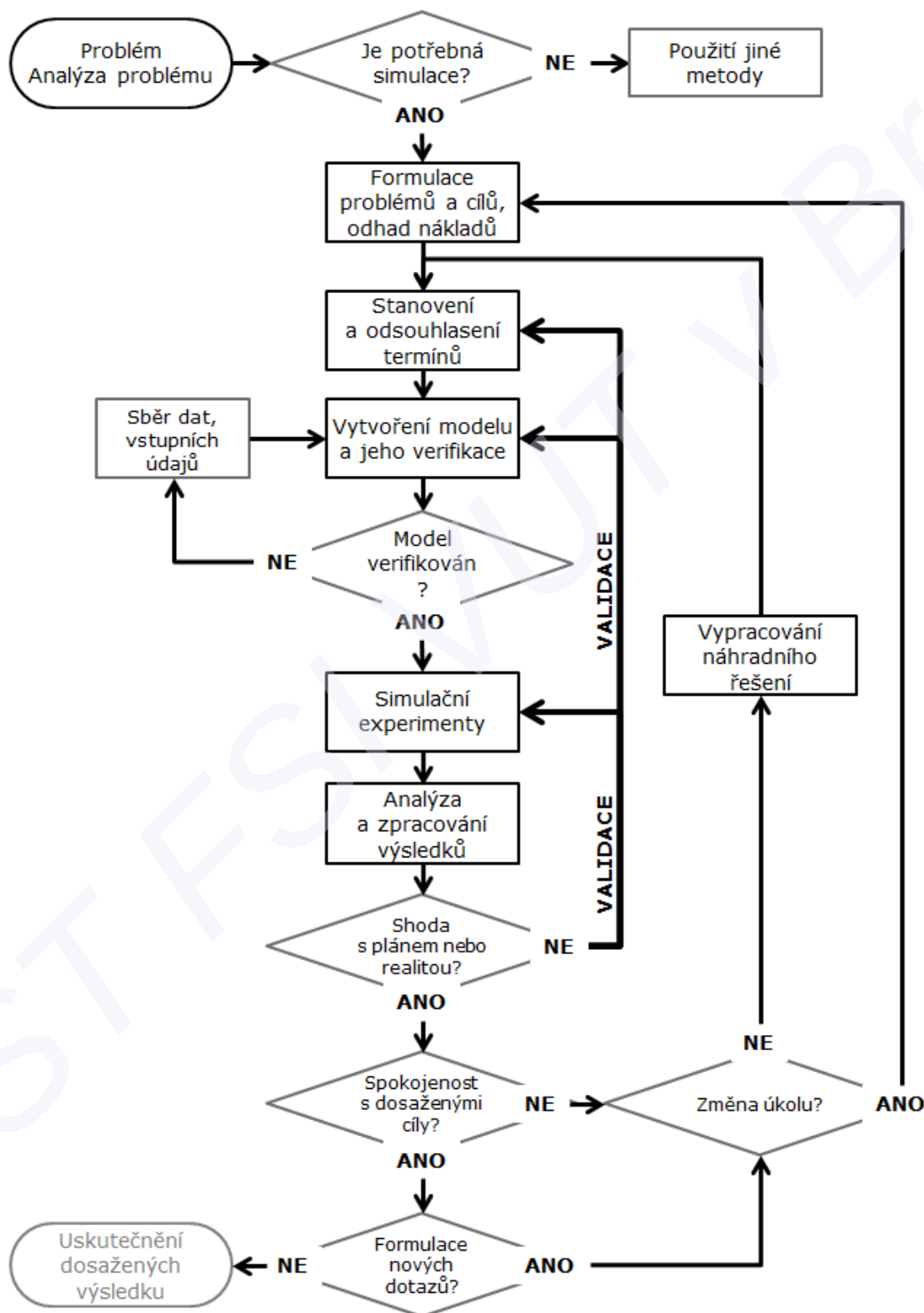
Základní princip simulace je zobrazen na obrázku 4. Simulační model vychází z poznání reálného (plánovaného) systému. Míra detailnosti, resp. shoda studovaného systému a jeho abstrakce – modelu, je určena stanoveným úkolem, který se má experimentem řešit. Před vlastním uskutečněním experimentu se provede verifikace a validace simulačního modelu. Když počítačový model odpovídá stanoveným tolerancím vůči reálnému systému, výsledky z prováděných experimentů jsou pokládány za korektní. Vhodnou interpretací a posouzením vlivu na reálný systém je možná jejich implementace. [12]



Obrázek 4 – Základní princip simulace [9]

4 METODIKA TVORBY SIMULACÍ DISKRÉTNÍCH UDÁLOSTÍ

Ze základního principu simulace uvedené v kapitole 3.4 se může definovat metodika tvorby simulačních modelů od zahájení simulačního projektu až po jeho ukončení. Kompletní postup je zobrazen na obrázku 5.



Obrázek 5 – Kompletní postup tvorby simulačního projektu [5]

4.1 Vysvětlení některých pojmů

V kompletním postupu tvorby simulačních modelů se vyskytuje několik pojmů, které je nutno vysvětlit.

4.1.1 Verifikace

Verifikace se považuje za formální kontrolu správnosti simulačního modelu, což odpovídá ověření správnosti logiky řízení modelu. Jedná se tedy o ověření, zda byl model správně přepsán z jednoho popisu do popisu druhého. [13]

Proces verifikace tak odpovídá na otázku: „Je vytvořen simulační model správně?“ [13]

4.1.2 Validace

Validace je kontrola odpovídající shody mezi simulačním modelem a originálem (původním systémem). Zajišťuje, aby model odrážel chování původního systému se stanovenou přesností a bez chyb. [5]

Proces validace odpovídá na otázku: „Je vytvořen správný simulační model?“ [13]

Validace společně s verifikací patří k důležitým úkolům v postupu tvorby simulačních projektů. [5]

4.1.3 Simulační experiment

Simulační experiment je cílená empirická studie chování simulačního modelu realizována prostřednictvím opakovaného provedení řady simulačních běhů. V každém simulačním běhu dochází k systematické změně počátečních podmínek (vstupních parametrů). [5]

5 SIMULAČNÍ PROGRAMY

Simulace diskretních událostí se vytvářejí v simulačních programech k tomu určených. Mezi ně například patří Witness, Plant Simulation, SimPro, Simul8, Arena, FlexSim.

Pro výběr simulačního programu platí tato obecná pravidla:

- využitelnost simulačního programu v různých oborech,
- snadnost obsluhy, přehledné uživatelské rozhraní,
- možnost implementace dat z rozdílných zdrojů a exportu dat do různých formátů,
- rychlost provádění simulačních experimentů,
- grafický výstup ve formě animace,
- prvky pro online sledování charakteristik jednotlivých veličin,
- podpora provádění simulačních experimentů.

5.1 WITNESS

Tato kapitola slouží k základnímu seznámení s uživatelským rozhraním simulačního programu. Zaměřuje se pouze na pracovní prostředí a základní knihovny elementů.

Jako reprezentant byl vybrán simulační program WITNESS.

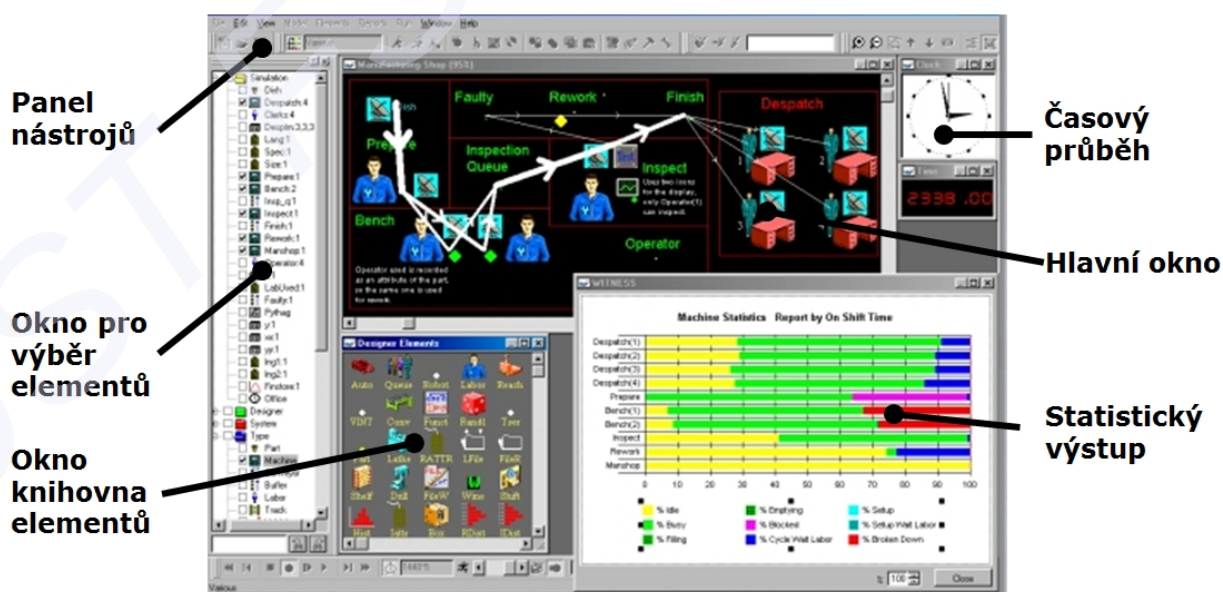
5.1.1 Pracovní plocha

Pracovní plocha simulačního programu WITNESS je rozdělená na tři hlavní části.

- panel nástrojů,
- hlavní okno,
- okno pro výběr elementů,
- okno knihovna elementů.

Jednotlivé části jsou znázorněny na obrázku 6.

Všechny části se můžou uživatelsky přizpůsobit a případně i skrýt jejich zobrazení. Simulační model se vytváří v části hlavního okna. Dále je pak možnost volitelně zobrazovat statistické výstupy, časový průběh simulačního běhu a okno knihoven elementů.



Obrázek 6 – Pracovní plocha simulačního programu WITNESS [14]



5.1.2 Knihovna elementů

Simulační model se vytváří pomocí definované knihovny elementů. Jednotlivé vzory elementů představují reálné objekty, které je potřeba simulovat.

Mezi základní elementy patří:

Part: Part jsou součásti, které reprezentují všechno, co se reálně pohybuje v materiálovém toku (např. materiál, polotovár, výrobek – obecně zakázka atd.) Program umožňuje tyto elementy slučovat, rozdělovat, vytvářet skupiny nebo je v průběhu simulace měnit za jiné. Další výhodou je volitelná možnost jejich řízení.

Buffers: Buffers představuje v simulačním programu všechny reálné objekty, které mají určitou podobnost se zásobníkem. Nastavit se dá různá parametrizace (kapacita, časové zdržení, minimální a maximální pojistná zásoba atd.) a různé typy řízení (např. FIFO – první dovnitř, první ven, LIFO – první dovnitř, poslední ven).

Machine: Machine obecně představuje proces, resp. výrobní proces. Konkrétně se může jednat v detailním zaměření o soustruh, svářecí robot, ruční pracoviště atd., v širším zaměření o dílnu, část výroby nebo podnik. Závisí to na míře detailnosti, která se simuluje.

Machine tak vyjadřuje všechny reálné objekty, kde dochází ke změně stavu elementu Part.

Druhy Machine:

- Single – představuje základní výrobní proces, jednoduché strojní zařízení (jeden Part dovnitř, jeden Part ven).
- Batch – charakterizuje dávkové zařízení/stroj (X Part dovnitř, X Part ven).
- Assembly – jako montážní stroj (X Part dovnitř, jedna ven).
- Production – charakterizuje produkční stroj (jedna Part dovnitř, X Part ven).
- General – obecný stroj (X Part dovnitř, Y Part ven).
- Multiple Cycle – představitel obráběcího centra, výrobního procesu s vícenásobným operačním cyklem.

(X a Y jsou přirozená čísla intervalu $\langle 1, \infty \rangle$)

Labor: Labor jsou prostředky (nástroje, lidé apod.), které vyžadují Machine k provedení definovaného úkonu (např. pracovní sílu k vykonání operace, seřizovače pro opravu, formu pro tváření apod.)

Mezi další definované elementy patří např.:

- Conveyor (dopravník),
- Vehicle (přepravní prostředek),
- Track (vymezení dráhy pro pohyb elementů),
- Shift (určení pracovní směny).

Více informací k simulačnímu programu bude sděleno ve cvičeních a přednáškách předmětu „Technologické projektování“ (HT1).

6 UKÁZKA PRAKTICKÉHO PŘÍKLADU

Tato kapitola vychází z veřejně dostupného článku „Ověření plánovaných kapacit paketovacího lisu pomocí simulačního nástroje“ uveřejněném v časopise Kovářství.

Citace článku:

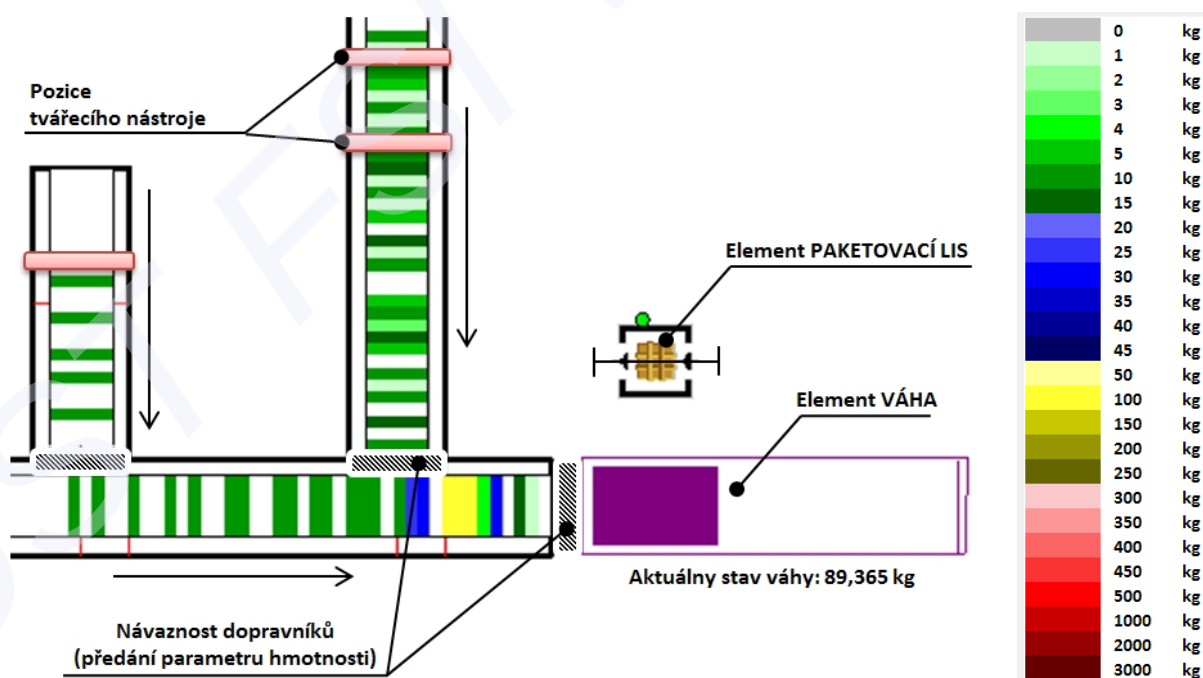
„VARJAN, Matúš a Jiří ŠTOČEK. Ověření plánovaných kapacit paketovacího lisu pomocí simulačního nástroje. *Kovářství*. Brno: Svaz kováren České republiky, 2012, roč. 2012, č. 44, s. 4. ISSN 1213-9289.“

Praktický příklad byl řešen pro oblast lisovny, kde předmětem zájmu bylo šrotové hospodářství. Šrotové hospodářství se zabývá sběrem a odvozem odpadu, který vzniká při stříhání a děrování materiálu. Po vykonané operaci odpad propadá pod lisovací linku a pomocí dopravníků je přesouván k paketovacímu lisu.

Hlavním cílem tohoto projektu bylo za pomoci simulace diskretních událostí určit vytíženost paketovacího lisu a jednotlivých dopravníků s ohledem na budoucí výrobní program.

Tento cíl souvisel s plánovaným navýšením výrobních kapacit, což má za následek zvýšení produkce odpadu a zvýšení požadavku na využitelnost šrotových dopravníků a paketovacího lisu.

Velkým přínosem tohoto simulačního modelu byla právě jeho vypovídací schopnost z hlediska vizualizace (Obrázek 7). Šrotový dopravník se skládá z mnoha segmentů. Každý segment má definovaný parametr *Váha* s počáteční hodnotou 0. Když segment na dopravníku dorazí na pozici tvářecího nástroje, kde vzniká odpad, parametr *Hmotnost odpadu* se přičte k parametru *Váha*. Každý segment při dosažení určité velikosti parametru *Váha* změní svou barvu, čímž je zajištěna vypovídající schopnost modelu při online sledování.

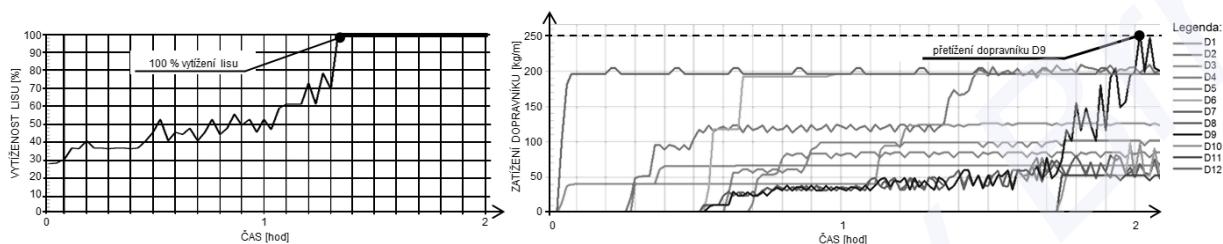


Obrázek 7 – Ukázka ze simulačního modelu - šrotové dopravníky a paketovací lis [12]

Online se v průběhu simulace dají sledovat i statistické výstupy. Převážně se jedná o spojnicové grafy popisující:

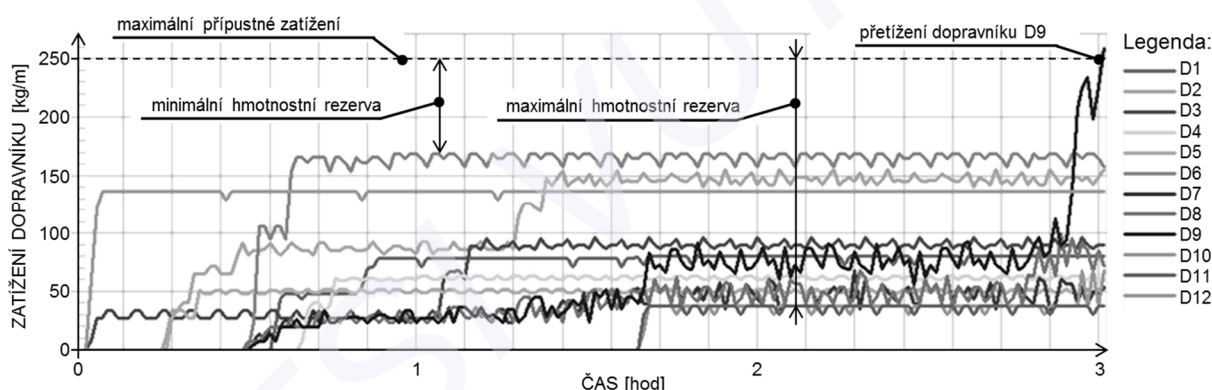
- celkový průběh zatížení dopravníků,
- průběh zatížení segmentů,
- průběh zatížení úseku, tzn. 1 metr dopravníku.

Spojnicové grafy jsou zobrazeny na obrázku 8.



Obrázek 8 – Příklad průběhu vytížení paketovacího lisu a průběh zatížení dopravníků [12]

Tyto sledované průběhy se po ukončení simulačního běhu musí následně analyzovat a výsledky z dosažené analýzy vhodně interpretovat. Rozbor průběhu je na obrázku 9.



Obrázek 9 – Rozbor průběhu zatížení úseku šrotových dopravníků [12]

Obecný přínos simulace vůči matematickým výpočtům spočívá především v získání vizuální představy o plánovaném procesu, což se potvrdilo i u tohoto projektu. S vysokou přesností byl pomocí simulace diskrétních událostí stanoven dopad plánovaného navýšení produkce v lisovně na vytížení paketovacího lisu a šrotových dopravníků. [12]

Více informací k řešenému projektu se dozvíte v časopise Kovárenství, roč. 2012, č. 44.



SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VIGNER, Miloslav, Mirko KRÁL a Antonín ZELENKA. *Metodika projektování výrobních procesů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984, 588 s.
- [2] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 135 s. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [3] BUDA, Ján a Milan KOVÁČ. *Metodika projektovania výrobných procesov v strojárstve*. 1. vydanie. Bratislava: ALFA, 1985. 63-565-85.
- [4] PERNICA, Petr, 2005. *Logistika pro 21. století: (supply chain management)*. Vyd. 1. Praha: Radix, s. 570. ISBN 80-860-3159-4.
- [5] VDI 3633. *Verein Deutscher Ingenieure, Simulation von Logistik-, Materialfluß und Produktionssystemen Grundlagen: Simulation of systems in materials handling, logistics and production Fundamentals*. Düsseldorf, 2000.
- [6] BANGSOW, Steffen. *Manufacturing simulation with plant simulation and simtalk: usage and programming with examples and solutions*. 1st ed. New York: Springer, 2010. ISBN 9783642050732 (ALK. PAPER).
- [7] LAW, Averill M. *Simulation modeling and analysis*. 4. ed., internat. ed. Boston [u.a.]: McGraw-Hill, 2007. ISBN 00-712-5519-2.
- [8] DANĚK, Jan. HUMUSOFT S.R.O. *Využití simulace jako inženýrského nástroje během životního cyklu výrobků a procesů*. Praha, 2007, 70 s.
- [9] ŠTOČEK, Jiří. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno: Vysoké učení technické, 2005. 114 s. ISBN 80-214-2885-6. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky. Vedúci práce Doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.
- [10] DLOUHÝ, Martin, Jan FÁBRY, Martina KUNCOVÁ a Tomáš HLADÍK. *Simulace podnikových procesů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, c2007, 201 s. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [11] FSI VUT V BRNĚ. *Použití nástrojů diskrétních simulací v logistice: Přehled možných postupů při vytváření diskrétních simulačních modelů pomocí nástroje Plant Simulation*. 2012, 74 s.
- [12] VARJAN, Matúš a Jiří ŠTOČEK. *Ověření plánovaných kapacit paketovacího lisu pomocí simulačního nástroje. Kovárenství*. Brno: Svaz kováren České republiky, 2012, roč. 2012, č. 44, s. 4. ISSN 1213-9289.
- [13] SIGRID WENZEL, Markus Rabe und Sven Spieckermann, Sven SPIECKERMANN a Sigrid WENZEL. *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. 1. Aufl. Berlin: Springer, 2007. ISBN 978-354-0352-815.
- [14] *Dynamic Future* [online]. 2010 [cit. 2013-5-23]. Dostupné z: <http://www.dynamicfuture.cz/>



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Model výrobního procesu

Obrázek 2 – Klasifikace modelů

Obrázek 3 – Zachycení dynamických vlastností

Obrázek 4 – Základní princip simulace

Obrázek 5 – Kompletní postup tvorby simulačního projektu

Obrázek 6 – Pracovní plocha simulačního programu WITNESS

Obrázek 7 – Ukázka ze simulačního modelu - šrotové dopravníky a paketovací lis

Obrázek 8 – Příklad průběhu vytížení paketovacího lisu a průběh zatížení dopravníků

Obrázek 9 – Rozbor průběhu zatížení úseku šrotových dopravníků