

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav dopravní techniky

Ing. Jiří Štoček

**OPTIMALIZACE MATERIÁLOVÉHO TOKU VE VYBRANÉM
PRŮMYSLOVÉM ZÁVODĚ**

**MATERIAL FLOW OPTIMIZATION IN A CERTAIN
MANUFACTURING COMPANY**

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství
Školitel: Doc. Ing. Břetislav MYNÁŘ, CSc.
Oponenti: Prof. Ing. Jaromír Polák, CSc.
Doc. Dr. Ing. František Manlig
Datum obhajoby: 19. ledna 2005

KLÍČOVÁ SLOVA

Materiálový tok, optimalizace, simulace diskretních systémů, dopravníkové systémy

KEY WORDS

Material flow, optimization, discrete systems simulation, conveyor systems

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně

OBSAH

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	5
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	6
3 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY.....	6
3.1 Materiálový tok.....	6
3.2 Optimalizace	7
3.3 V současnosti používané metody	8
4 NAVRHOVANÝ PŘÍSTUP ŘEŠENÍ	11
4.1 Metodika postupně se zpřesňujících modelů	11
4.2 Analýza výrobních dat	14
4.2.1 Vyhodnocení spolehlivosti dopravníkových zařízení	14
4.2.2 Analýza výroby na základě dat z evidenčních bodů.....	15
5 OVĚŘENÍ VYTVOŘENÝCH PŘÍSTUPŮ ŘEŠENÍ V PRAXI.....	16
5.1 Dosažené výsledky.....	16
6 ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ PRO TEORII A PRAXI.....	17
6.1 Přínosy pro teorii.....	17
6.2 Přínosy pro praxi.....	17
6.3 Potenciály pro další rozvoj dané problematiky.....	18
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	19
7.1 Literatura.....	19
7.2 Další zdroje na internetu	23
8 VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST	24
9 ABSTRACT	25

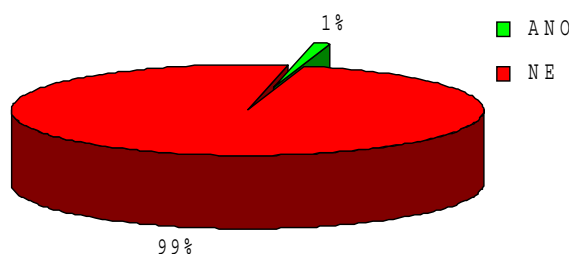
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V současné době dochází k rozvoji plně integrovaných logistických systémů zahrnujících fyzickou distribuci výrobků, podporu a plánování výroby a nákup surovin. Podnik, který by v dnešní době neměl vyvinutý logistický systém, není konkurenceschopný a tento fakt vzroste na významu pro české podniky připojením České republiky k Evropské unii. V publikacích (2), (23) a (8) se autoři podrobně zabývají problémy v rámci logistického řetězce a s ním souvisejícího materiálového toku uvnitř podniku.

Pro řešení problémů toku materiálu je stále více v logistice používána metoda simulačního modelování za využití diskrétní simulace. V bývalém Československu se začalo s používáním simulačních metod zhruba v roce 1970, a to zejména při řešení úloh ekonomického charakteru. V jiných oborech, jako např. v technice, medicíně apod., k tomu došlo o něco dříve (34). Simulací se tehdy zabývaly výhradně výzkumné ústavy. Z důvodu nízké úrovně výpočetní techniky, podcenění znalosti problematiky modelovaného systému a bez dostatečných zkušeností s vytvářením modelů došlo k řadě neúspěchů.

Nyní existuje již řada speciálně vyvinutých programů (např. eM-Plant - Simple++, Wittnes ,AweSim, Arena, SimPro) pro řešení problémů materiálového toku, ověřování navržených výrobních změn, optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů a nalézání inovačních a úspěšných řešení), a díky vyspělé výpočetní technice se stává řešení i velmi rozsáhlých a složitých modelů méně časově náročné. Pro jejich aplikaci je však zapotřebí vycházet přímo z praxe, na což většina našich podniků není připravena jak po stránce vžitých konkurenceschopných logistických procesů, tak po stránce informačních zdrojů (systémy řízení a monitorování výroby), pomocí nichž je možné získávat vstupní data pro vytvářený model a přiblížit se tak k reálnému systému.

Přínosy simulačních projektů si začínají podniky uvědomovat, a tak dochází ke stále většímu počtu prováděných projektů poradenskými organizacemi a k nárůstu prodaných licencí. Stav využívání simulace v naší republice i přes tento růst je však stále ještě poměrně malý – což lze dokumentovat na výsledku výzkumu (83) – viz obrázek.



Obr. 1 Procentuální využití simulačních nástrojů

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Problematika optimalizace materiálového toku je problematikou vyvstávající v každé fázi životního cyklu výroby. Jejím cílem je navrhnout co nejvýhodnější materiálový tok vzhledem k aspektům hospodárnosti a flexibility. Tato problematika se s neustále rozšiřující specializací stává obtížnější díky nutnosti interdisciplinárního přístupu. Průřezový pohled na problém vyžaduje komplexní a systematický přístup zahrnující poznatky nejen technických ale i ekonomických disciplín. Na druhé straně je toto částečně ulehčeno novými nástroji díky rozvíjejícím se informačním a komunikačním technologiím. Z výše uvedeného vyplývá hlavní cíl práce, tj. vytvoření metodiky uplatnění nových nástrojů pro návrh a optimalizaci materiálového toku.

Prvním dílčím cílem, ze kterého je nutné vyjít, je detailní zmapování v současné době používaných dopravníkových technologií, jejich konstrukčního řešení, struktury a vhodnosti nasazení. Přičemž zvláštní pozornost je zde nutné věnovat jejich chování a spolehlivosti.

Konsekventním průnikem cíle prvního a dílčího cíle druhého, který s neustále se rozvíjejícími informačními technologiemi tvoří hlavní ideovou osu celé práce (ze studia sekundárních zdrojů a z praktické znalosti problematiky) je vytvořit ucelenou metodiku, která umožní systematický přístup nasazení simulačních nástrojů pro účely optimalizace materiálového toku.

Resultujícím třetím dílčím cílem je praktické ověření vytvořené metodiky při řešení problémů optimalizace materiálového toku, a to v průběhu celého výrobního cyklu s využitím simulace.

Takto vytvořená a ověřená metodika vycházející z nových poznatků na jedné straně o dopravních technologiích a na straně druhé z poznatků o možnostech daných simulačními nástroji, by měla díky systémovému přístupu pomoci podnikům při návrhu a řešení optimalizačních úloh materiálového toku. Dalším faktorem by bylo syntetické ucelení problematiky, které je možné označit za teoretický přínos v oboru strojírenství zabývajícího se dopravní technikou. Tímto by mělo dojít k přínosům jak v teoretické, tak praktické rovině.

3 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY

3.1 MATERIÁLOVÝ TOK

Materiálový tok je součástí **logistického řetězce** - dynamické propojení trhu spotřeby s trhy surovin, materiálů a dílů v jeho hmotném a nehmotném aspektu, které účelně vychází od poptávky (objednávky) konečného zákazníka (kupujícího spotřebitele), resp. které se váže na konkrétní zakázku, výrobek, druh či skupinu výrobků.

Materiálový tok je potom označován jako pohyb materiálu ve výrobním procesu nebo v oběhu, prováděný pomocí aktivních prvků (nejčastěji pomocí 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. (2)

Při navrhování schématu materiálového toku je brán zřetel na následující činitele, které ho ovlivňují:

- vnější dopravu;
- objem výroby;
- počet součástí nebo druhů materiálu;
- počet operací na součásti nebo na materiálu;
- počet uzlů nebo montážních skupin;
- tvar místa (prostor), které je k dispozici;
- tok mezi pracovišti (mezioperační doprava).

Pro materiálové toky platí řada ekonomických závislostí, z nichž některé se projevují i na úrovni celého logistického řetězce. Například jednicové náklady na materiálový tok jsou ovlivněny následujícími činiteli (2):

- povaha materiálu;
- množství materiálu;
- trasa;
- úroveň řízení;
- čas.

3.2 OPTIMALIZACE

Praktické pojetí optimálního materiálového toku vychází z velkého počtu omezení. Ačkoliv je pod optimalizací obecně rozuměno nalezení optimální situace – nejlepšího stavu věcí (51), jednalo by se spíše o vázané optimum – nejlepší situace dosažitelná v rámci existujících omezení (51). V praxi bývá pohlíženo na optimalizaci jako na výběr variant z technicky možných realizovatelných řešení, kdy je při výběru posuzován a brán ohled i na finanční náklady realizování jednotlivých řešení. Jednotlivá řešení přitom vychází již z ustálených, případně v současnosti používaných manipulačních zařízení na stejné konstrukční bázi (např. jsou určité standardizované pohonné jednotky docilující určité rychlosti). V konečném důsledku to znamená, že vybraná varianta nemusí být optimální, ale v rámci nadefinovaných omezení se k variantě optimální přibližuje – je tedy nejlepší (optimální) z možných uvažovaných variant (takto definovaný pojem optimalizace bude respektován v celé práci a odpovídá praktickému pojetí uvedenému například v definici¹ (88)). V této práci je brán zřetel převážně na optimalizaci materiálového toku v sériové až hromadné výrobě.

¹ Optimization is a technology for calculating the best possible utilization of resources (people, time, processes, vehicles, equipment, raw materials, supplies, capacity, securities, etc.) needed to achieve a desired result, such as minimizing cost or process time or maximizing throughput, service levels, or profits. Optimization technology improves decision making speed and quality by providing businesses with responsive, accurate, real-time solutions to complex business problems.

Problematika optimalizace materiálového toku je totiž při tomto charakteru výroby specifická, neboť dochází k nepřetržité či značně opakované výrobě velkého množství stejných nebo podobných výrobků a vzniká zde nebezpečí zvýšených dopravních nákladů. Zvýšené náklady za přepravu mohou být způsobeny nevhodným rozmístěním výrobních objektů, nevhodným umístěním skladových ploch, nevhodným prostorovým uspořádáním pracovních míst, strojů a zařízení, případně i špatnou volbou a technickým návrhem dopravního systému (dopravníky, vozíky, apod.), skladovacího systému (regálové zakladače apod.) nebo volbou druhu, či velikostí manipulační jednotky (palety, kontejnery, obaly atd.). V případě již zmiňované hromadné nebo velkosériové výroby je každý zvýšený náklad či zvýšená časová náročnost multiplikována vysokým množstvím vyráběných kusů.

3.3 V SOUČASNOSTI POUŽÍVANÉ METODY

Metody používané v oblasti výrobní logistiky při navrhování nebo zdokonalování (optimalizaci) logistického řetězce (materiálového a informačního toku) je celá řada od prognostických, systematicky orientovaných až po systémově orientované metody. Mezi hlavní nejčastěji používané metody se řadí:

- **Metody sledování toku:**

- *Metody klasifikace materiálu nebo informací.* Jde například o metodu **ABC analýzy** (Lorezova křivka) nebo metodu **PQ analýzy** (Produkt-Quantum) - zde v této variantě je možné použít množství výrobků jako kritérium (např. obrat, výrobní náklady, výrobní dobu).

- *Metody zjišťování vzájemných vztahů.*

- *Metody postupové* (grafické, šachovnicové, postupových listů).

- V případě řešení umístění jednotlivých objektů v určitém prostoru je používáno **metod lineárního programování** - jde především o speciální metody řešení dopravního problému. Mezi tyto nejznámější metody patří:

- metoda severozápadního rohu (MSZR);

- metoda indexová vzestupná;

- metoda indexová sestupná;

- metoda kombinovaná indexová;

- metoda Voglova aproximační (VAM).

Tyto aproximační metody jsou založeny na předpokladu, že řešený dopravní problém je vyrovnaný (vyvážený) a je splněna podmínka tzv. homogenosti přepravovaných výrobků. Řešení nevyrovnaného dopravního problému je řešeno fiktivním dodavatelem nebo fiktivním odběratelem. V podmínkách strojírenských firem je však při použití těchto metod limitující podmínka homogenosti přepravovaného výrobku. Obvykle se však přepravují rozdílné komponenty a odběratel musí dostat přesně konkrétní komponent. Více o metodách lineárního programování - viz např. (48).

- Při optimalizaci rozmístění pracovních míst a výrobního zařízení uvnitř objektů je možné volit (kromě již zmíněných metod lineárního programování) i jiné poměrně jednoduché matematické a grafické metody; jedná se především o **analytické metody**, mezi které patří:
 - šachovnicová tabulka;
 - Sankeyův diagram;
 - srovnávací tabulka (dopravních) vztahů;
 - trojúhelníková metoda;
 - metoda souřadnic.
- Jedna z dalších metod prostorového uspořádání je **metoda CRAFT** [Computerized Relative Allocation of Facilities Technique], která je příbuzná metodě síťové analýzy. Cílem této metody je stanovit takové rozmístění (dílů, provozů), aby celkové náklady na manipulaci s materiálem byly minimální.
- Při snaze o docílení optimálního výrobního toku, pružnosti a flexibility výrobních úkonů a minimální průběžné doby materiálového toku, je využíváno rozličného uspořádání výroby v závislosti na charakteru a objemu výroby. Jedná se o problematiku související s **výrobními a montážními principy**.
- Výše uvedené nejznámější a nejčastěji používané analytické metody, jejichž výhodou je relativní jednoduchost a rychlost výpočtu při zjednodušení zadání, jsou pro praktické použití při řešení značně komplexních úloh příliš komplikované, případně nepoužitelné. Z tohoto důvodu se stále více v dnešní době prosazuje využívání **metody počítačové simulace**, která je orientována na studium složitých dynamických pravděpodobnostních systémů prostřednictvím experimentů.
- V praxi je možné se často setkat i s **heuristickým přístupem** řešení optimalizace materiálového toku. Je používán v případech, kdy matematické metody nevedou k úspěšnému řešení, nebo použití není vůbec možné z důvodu specifické povahy řešeného problému. Heuristickým přístupem se rozumí hledání řešení pomocí algoritmu, o němž je možno se domnívat, že vede k řešení, ale není možno toho dosáhnout exaktní metodou a formulací. Je samozřejmé, že výsledné řešení není optimální, avšak může být dostačující. Proti stávajícím algoritmům a známým metodám vychází heuristické řešení z určitých omezení, jako zmenšení prostoru uvažovaného pro řešení nebo zmenšení prostoru objektu, pro který je řešen model (36).
- **Metody síťové analýzy**

Jedná se o metody ke zkoumání nebo řízení složitých procesů, umožňující řešit určitý časový průběh a návaznost jednotlivých činností v rámci složitého procesu a zjistit (využít) časové rezervy v průběhu činností a stanovit optimální průběh složitého procesu z hlediska času, využití zdrojů, prostředků a nákladů (2).

V rámci síťové analýzy se používají tyto základní síťové grafy:

 - síťový graf orientovaný na události,
 - hranově definovaný síťový graf,
 - uzlově definovaný síťový graf.

- **Metody hromadné obsluhy (teorie front)**

Teorie hromadné obsluhy, nazývaná též teorie front, je základním nástrojem pro tvorbu diskrétních modelů dynamických systémů. Teorie front se zabývá trvalými jevy (procesy), které mají charakter hromadnosti a při kterých jsou vznik požadavků na obsluhu a doba obsluhy vystaveny náhodným vlivům. Matematickým nástrojem teorie front (hromadné obsluhy) je teorie pravděpodobnosti.

Základním předmětem této teorie je studium vlastností systému hromadné obsluhy, které jsou v zásadě charakterizovány třemi:

- vstupním tokem požadavků,
- frontou požadavků, které nemohou být systémem ihned zpracovány,
- kanály obsluhy.

Cílem řešení problémů pomocí teorie front je nalézt takové uspořádání systému obsluhy, při němž by celkové náklady spojené s procesem obsluhy byly minimální. Problém teorie front se řeší buď analyticky (na základě odvozených vztahů je možno přímo stanovit hodnoty hledaných charakteristik) nebo v případech složitějších rozdělení náhodných veličin se řeší pomocí simulace více je uvedeno v (7).

- **Metody hodnotové analýzy a hodnotového inženýrství**

Hodnotová analýza je účelně sestavený soubor metod, jehož smyslem je hledání a navrhování zlepšeného nebo až zásadně nového řešení funkcí analyzovaného objektu s cílem zvýšit jeho efektivnost (50). Mezi nejzákladnější metody hodnotové analýzy a hodnotového inženýrství patří:

- metody zajišťování funkcí,
- metody hodnocení funkcí a efektivnosti objektu,
- metoda tvorby cen funkčně nákladovým přístupem,
- metody analýzy výrobního programu a navrhování nových výrobků,
- metody tvořivého myšlení,
- metody posuzování námětů,
- metody stanovení rizika a optimální varianty.

Tato metoda je dostatečně popsána a zvládnuta v literatuře (49), (50).

- **Metody používané pro hodnocení a výběr variant**

Pro posuzování a výběr variant je v praxi často používána **metoda bodovací** a **metoda klasifikační** (také označována jako metoda váhového hodnocení). Metoda bodovací je vhodná tehdy, kdy se varianty posuzují podle hledisek a ukazatelů stejné důležitosti. Mají-li jednotlivá hlediska a ukazatele různou důležitost, používá se metody klasifikační. Ukazatele, podle kterých se varianty posuzují, mohou být různé, např. ekonomická efektivnost, zvýšení bezpečnosti práce, zvýšení exportu, apod.

4 NAVRHOVANÝ PŘÍSTUP ŘEŠENÍ

Při plánování nové výroby vznikají mezioborové plánovací týmy tvořené zpravidla zástupci z oblasti plánování, výroby, údržby a kvality. Vývoj konceptů nastává většinou interně ve firmě, detailní plánování a konečná montáž pak spolu s dodavatelem zařízení. Příslušné projektové plány odvozené ze stanoveného časového plánu obsahují projektové fáze (strategická fáze, fáze tvorby konceptu, realizační fáze, provozní) s příslušnými jednotlivými aktivitami a zodpovědnými osobami.

V průběhu projektu plánování nové výroby vznikají mnohdy plánovací mezistavy (např. předběžné zvolení konceptu, rozhodnutí o uvolnění konceptu, uvolnění layoutu, realizace layoutu, apod.). Tyto stupňovité výsledky pochází z postupného zpřesňování budoucího výrobního systému.

Plánování materiálového toku realizovaného přes dopravníková zařízení je již delší dobu, kromě metod uvedených v předchozí kapitole 3.3, neodmyslitelně spjata s využíváním počítačové simulace.

Doposud je však většinou těžiště cílů simulace směřováno pouze na oblast plánování v jeho relativně pozdější fázi v již detailně plánované předloze, a to ještě pouze v těch případech, kdy řešený problém nabyl vysoké komplexnosti a nebyl zvládnutelný jednoduchými analytickými metodami.

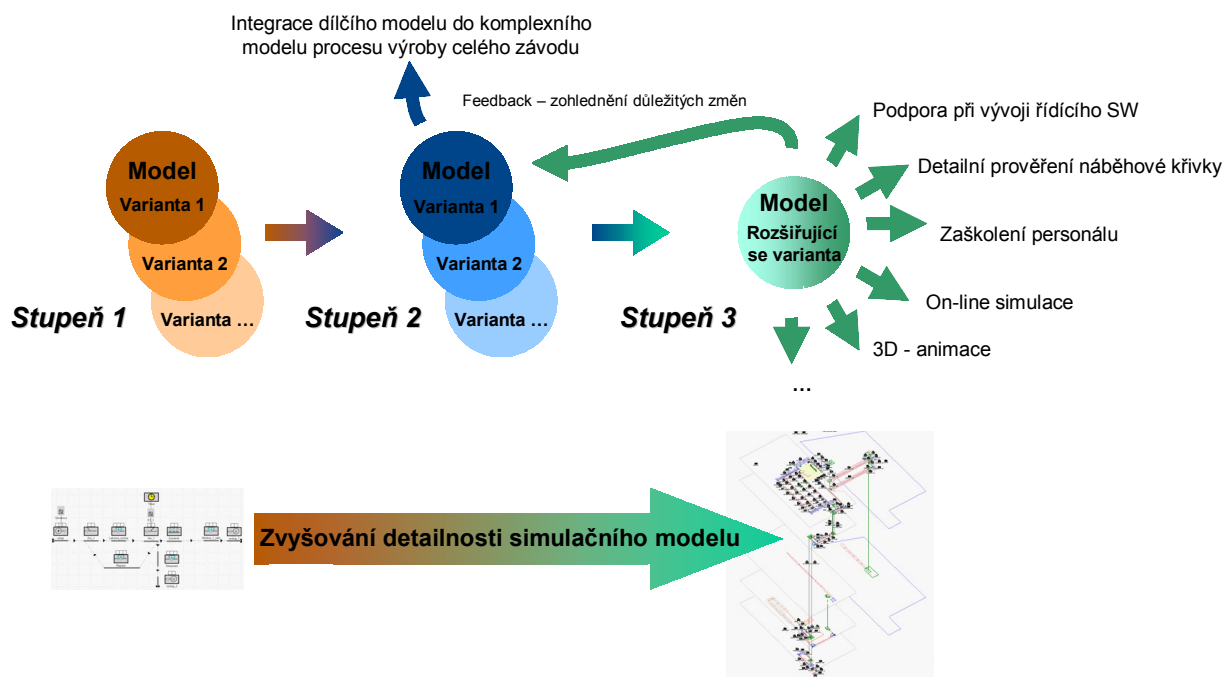
Toto pozdní nasazení simulačních metod většinou neumožňuje již nalezení „optimálního“ řešení; všechna důležitá rozhodnutí související se zvoleným konceptem jsou již provedena, dokonce je někdy započato i s realizací dodávek zařízení a stanovené cíle simulační studie jsou omezeny pouze na validaci stanoveného konceptu a zabezpečení minimalizace nákladů na změny nebo přestavbu.

4.1 METODIKA POSTUPNĚ SE ZPŘESŇUJÍCÍCH MODELŮ

Navrhovaná komplexní simulační studie je prováděna pomocí postupně se zpřesňujících modelů, viz obrázek 2. Simulační model ve svém detailním stupni projektového postupu příslušně narůstá po krocích, přičemž pokud není dostatek informací pro postoupení do dalšího stupně (vybrání úspěšné varianty), zůstává model na abstrahované míře příslušného stupně a jsou rozšiřovány pouze příslušné části nové výrobní struktury.

Postupné zvyšování detailnosti odpovídající požadavkům následujících plánovacích mezistavů s komplexním způsobem pozorování umožňuje výrazně dříve odhadnout celkové logistické souvislosti, které k současné aktuální projektové fázi působí zpět přímo na stávající plánované výsledky. S pravidelným koordinovaným zpětným tokem interpretovaných simulačních výsledků do aktuálního plánu se vytváří zpětnovazební odvod, který zajišťuje nepřetržité zlepšování plánovaného konceptu. Pro tato vyjádření je ovšem potřeba vysoké kvalifikace simulačních expertů, především pokud jde o jejich schopnost abstrahování a vymezení systémových hranic modelu.

Simulační experti provádí odhad simulačních požadavků jednotlivých plánovaných úloh. Jednotlivé simulační studie jsou prováděny buď přímo interně nebo externími partnery. V počáteční fázi je však vhodné, aby koncept definovaný ve strategické fázi byl zpřesňovaný až do milníku rozhodnutí o uvolnění konceptu přímo interně ve firmě vlastními kapacitami simulačních specialistů. Tímto je možné docílit výrazného časového zkrácení procesu plánování.



Obr. 2 Schéma průběhu postupně se zpřesňujícího modelu

U prvního a druhého stupně vzniká více strukturních variant, kde cílem je především ověření správnosti navrhovaného řešení, objektivní posouzení dosažených výsledků a porovnání různých alternativ řešení s následným redukováním počtu variant.

V průběhu třetího stupně se již neprovádí variantní členění modelu, ale pouze se rozšiřuje s aktualizací a zohledňují se provedené změny. V modelu jsou již zahrnuta veškerá pravidla chodu výroby od definování výrobního mixu (tvar sekvence jednotlivých produktových variant), až po zahrnutí veškerých pravidel chodu výroby, restrikcí zařízení, detailního parametrování a dimenzování všech elementů znázorňujících jednotlivé dopravníkové segmenty tvořící dopravníkový systém (i se zpětnými dopravníkovými tratěmi) a jejich vymezení a začlenění v rámci jednotlivých pracovišť s přesnou parametrizací časů operací a odpovídajících parametrů prostojů a poruch.

V rámci druhého a zejména třetího stupně se pro optimalizaci částečně využívá heuristických optimalizačních algoritmů, u kterých díky své jednoduchosti odpadají potíže při řešení úloh komplikovaných svým rozměrem nebo strukturou. Tyto heuristické metody, jako například metoda simulovaného žhání, genetických

algoritmů nebo metoda zlatého řezu, byly do diskretních simulačních systémů integrovány v posledních letech. U těchto metod však není zaručeno nalezení globálního optima, proto jsou využívány jako doplňující k obecnému způsobu řešení optimalizace diskretních systémů. Při obecném způsobu řešení optimalizace (na základě vypracovaného zkušebního plánu se simulují jednotlivé varianty a ty jsou hodnoceny podle získaných výsledků) se zejména u třetího stupně, kdy je model již ustálen a neprobíhají zásadní změny v modelové struktuře, využívá automatické parametrizace modelu z prostředí programu Excel nebo Access. Toto umožňuje velice rychlé a bezchybné přenastavení parametrů v modelu pro jednotlivé ověřované varianty s jejich přehlednou strukturou v tabulkové formě. Při tomto způsobu parametrizace modelu je kladen velký důraz na systematické označování jednotlivých použitých prvků v modelu. Dále je také možné načítání dat do modelu z výrobních databází nebo využívání řídicích algoritmů v průběhu simulace přímo již z reálných softwarových aplikací používaných ve výrobě.

V tomto třetím stupni není simulační model využíván pouze pro účely přímo spojené s procesem plánování nové výroby, ale je použit jako základ pro další navazující činnosti jako je například:

- **zaškolení personálu** - znázornění funkčních vzájemných vztahů prezentovaných pomocí animace (s rozšířením o interaktivní prvky v simulačním modelu) může sloužit také k zaškolení pracovníků příslušných pracovišť, dispečerů výroby nebo logistiky. Na základě vypracovaného scénáře jsou simulovány různé stavy poruch, a to tak, aby bylo možné pracovníkům názorně vysvětlit důsledky rozdílných nouzových strategií. Pracovníci nabudou například znalosti o limitních hranicích reakčních časů zařízení nebo celkových důsledcích zvolených výrobních strategií.
- **podpora při vývoji řídicího softwaru** – programy, např. pro nadřazené řízení dopravníkové techniky, jsou vyvíjeny a testovány v poměrně pozdější době realizace výroby, a to z důvodu absence reálného systému, kdy není možnost testování a odladění programu. Tento budoucí reálný dopravníkový systém (potřebný pro vývoj programu) je možné nahradit simulačním modelem, který je v průběhu simulace řízen na základě informací z tohoto vyvíjeného produktu. Díky tomu je možné daleko dříve zahájit vývoj a testování tohoto programu s dosažením zkrácení času při vlastní implementaci ve fázi realizace.
- **3D-animace** - jedná se o rozšíření využití inovačních vizuálních metod 3D animace nebo virtuální reality jako komunikačního základu všech účastníků při plánování pro lepší zobrazení a pochopení dynamiky procesu.
- **on-line simulace** - jde o propojení vytvořeného modelu s podnikovým informačním systémem (respektive jeho databází) na základě kterého jsou přeneseny data v reálném čase do modelu před zahájením simulačních experimentů. Tato aplikace je určena především pro operativní řízení výroby na úrovni dispečerů. V současné době mají dispečeré většinou k dispozici informace o stavu dopravníkové techniky, výrobních zařízeních, monitorují průchod výrobků jednotlivými výrobními oblastmi s přesnými informacemi o

výrobcích na konkrétních dopravníkových pozicích, dále mají přehled o požadavcích na materiál a průběžně kontrolují, zda je k dispozici. V případě vzniku odchylek od stanoveného plánu (vznik poruchy, problémy s dodávkou materiálu apod.) musí vyhodnotit vzniklou situaci na základě výše popsaných informací a navrhnout způsob řešení při snaze dosáhnout minimální průběžné doby, maximální využití výrobních zařízení, minimální náklady a požadovanou kvalitu. Doposud se rozhodovali na základě dlouhodobých zkušeností (empiricko-intuitivní přístup řešení problému). Pomocí simulačního testování různých možných variant (řádově během pár minut) se mohou lépe seznámit s důsledky jednotlivých řešení a zvolit optimální variantu.

Po ukončení třetího stupně se případně zohledňují významné změny vzniklé v tomto stupni do modelu v druhém stupni, ze kterého tento konečný model vzešel při respektování zvolené míry detailnosti, která byla na tomto druhém stupni stanovena. Po aktualizaci je tento dílčí model z druhého stupně integrován do komplexního modelu procesu výroby celého závodu, který je možno pak dále využít pro komplexní posuzování nových změn v rámci celého závodu.

V průběhu všech těchto modelových stupňů postupně se zpřesňujícího modelu jsou jednotlivé simulační studie metodicky zpracovávány po jednotlivých krocích fázového model simulačního projektu s dodržování všech jeho základních bodů.

4.2 ANALÝZA VÝROBNÍCH DAT

V rámci řešené problematiky zaměřující se na oblast hlavního materiálového toku v automobilovém průmyslu bylo zapotřebí provést analýzu spolehlivosti dopravníkových zařízení - jednotlivých prvků, ze kterých je dopravníkový systém tvořen a analýzu jednotlivých navazujících výrobních oblastí pro parametrizaci a definování systémových hranic simulačního modelu. Tato analýza byla provedena ve firmě Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi na základě údajů ze skutečného provozu, kde je výroba obdobného charakteru a jsou používány stejná dopravníková zařízení se stejnou zajištěností údržby, která je předpokládána i v případě aplikování a ověření navrhovaného přístupu řešení v této práci na konkrétním příkladu.

4.2.1 Vyhodnocení spolehlivosti dopravníkových zařízení

Objektem zkoumání (po stránce spolehlivosti) v rámci této práce byly jednotlivé prvky skidového dopravníkového systému, jejichž funkce a konstrukce je detailně popsána v disertační práci.

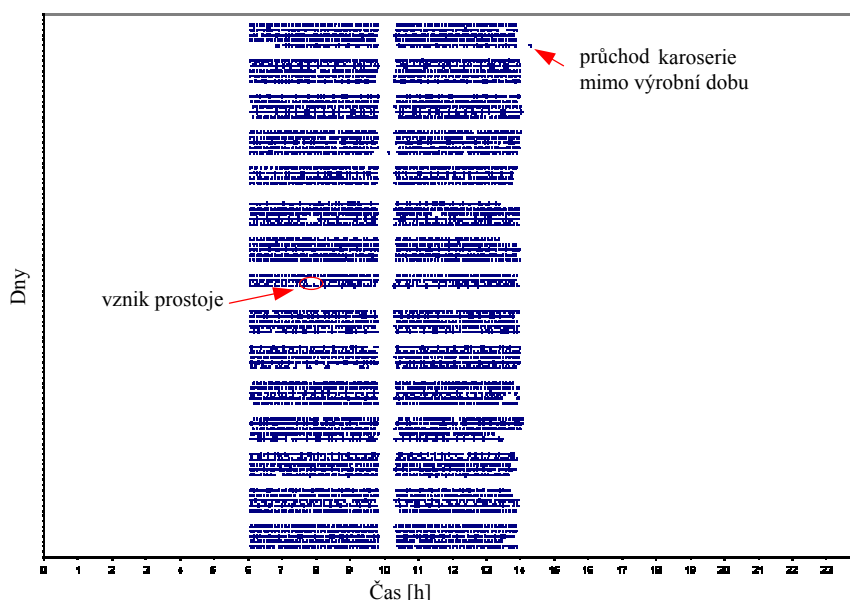
Celkem bylo zkoumáno 166 zařízení, která jsou začleněna dle typu do 13-ti skupin. Objekty byly vybrány z jednotlivých provozů svařoven, lakovny a montáží ve Škoda Auto a.s. v Mladé Boleslavi. Pro analýzu bylo využito archivních údajů z jednodolých řídicích systémů dopravníkové techniky zmíněných provozů, ve kterých jsou automaticky zaznamenány časy okamžiku vzniku poruchy jednotlivých zařízení, jejich délka trvání a příčina poruchy.

Výsledkem provedené analýzy byly získány údaje k jednotlivými zařízením o jejich:

- disponibilitě;
- středních hodnotách dob trvání poruchy a dob do poruchy;
- charakteristice spojité náhodné veličiny doby poruchy a doby do poruchy.

4.2.2 Analýza výroby na základě dat z evidenčních bodů

Jako základ pro charakteristiku jednotlivých výrobních oblastí případně provozů je možné vycházet z historických výrobních dat zaznamenaných na jednotlivých evidenčních bodech při průchodu karoserií těmito místy za určité období. Výhodou takto získaných dat pro další zpracování je jejich objektivita (nepodléhají ručnímu záznamu a tudíž je vyloučena možnost vzniku zkreslených dat, případně jejich záměrnou korekci nebo chyb způsobených lidským faktorem).



Obr. 3 Grafické znázornění průchodů jednotlivých karoserií evidenčním bodem

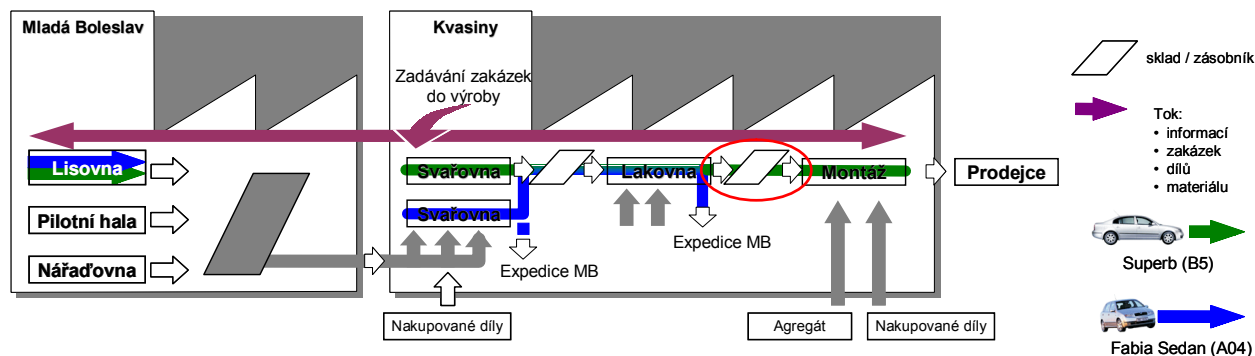
Již z grafického znázornění těchto hodnot (viz obr. 3, kde je na osu x vynesena doba průchodu a na osu y datum průchodu karoserie evidenčním bodem) případně jejich dalším zkoumáním je možné získat informace o:

- směnovém režimu;
- pevně stanovených přestávkách;
- počtu pracovních dnů (při dalším zpřesnění i počet směn);
- vzniklých odchylkách od pevně stanoveného výrobního režimu;
- taktu výrobní linky;
- využití výrobní kapacity;
- tvaru sekvence dle stanovených vlastností zakázek;
- charakteristice spojité náhodné veličiny doby prostoje a doby do prostoje.

5 OVĚŘENÍ VYTVOŘENÝCH PŘÍSTUPŮ ŘEŠENÍ V PRAXI

Navrhovaný přístup řešení - přispívající k optimalizaci materiálového toku za využití simulace během celého výrobního cyklu - byl ověřen a poprvé v takovémto rozsahu použit, v rámci této práce, ve firmě Škoda Auto a.s. v souvislosti se zahájením výroby nového vozu Škoda Superb v pobočném závodě Kvasiny.

Pro ověřování byla vybrána oblast skidového dopravníkového systému mezi provozy lakovny a montáže s detailním zaměřením na oblast zásobníku, který je součástí tohoto systému viz obr. 4.



Obr. 4 Schéma hlavních výrobních oblastí výroby vozů v závodě Škoda Auto a.s.

5.1 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Z celkových přínosů, při zhodnocení praktické části této práce, je možné uvést:

- Již ve fázi hrubého plánování byla stanovena s vysokou přesností potřebná kapacita zásobníku;
- Na základě stanovených výrobních parametrů byl navržen dopravníkový systém určený pro přepravu karoserií spolu s návrhem technického řešení zásobníku v této oblasti. Rovněž bylo navrženo rozmístění jednotlivých dopravníkových prvků a manipulačních zařízení, dále byla provedena optimalizace průchodu základních přepravních prostředků (skidů) tímto dopravníkovým systémem s docílením minimálních průběžných časů, počtu přepravních prostředků (skidů) a eliminací úzkých míst. Odstranění úzkých míst bylo řešeno buď nalezením vhodné řídicí strategie nebo změnou parametrů jednotlivých dopravníkových prvků. Celkové navržené řešení zajišťovalo plynulou průchodnost dopravníkovým systémem a uvedeným zásobníkem.
- Využitím simulačního modelu při vývoji řídicího software pro vlastní zásobník bylo možno zajistit bezrizikové testování, docílit kvalitativně lepšího technického zadání, zkrátit čas potřebný k jeho implementaci do výroby s eliminací problémů, které by vznikly při testování v reálné výrobě.
- Dalším aplikováním počítačové simulace zaměřující se na zaškolení personálu bylo možné zajistit plynulost materiálového toku již v počátečních fázích nové výroby spolu s nasazením on-line simulace využívané pro operativní řízení výroby.

6 ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ PRO TEORII A PRAXI

6.1 PŘÍNOSY PRO TEORII

Mezi přínosy v teoretické oblasti je možné zařadit podrobné zmapování současného stavu používaných obecných metod, které jsou zaměřeny na rozbor, řízení a optimalizaci materiálového toku.

Dále došlo v rámci naplnění dílčích cílů k podrobnému zmapování používané dopravníkové techniky v automobilovém průmyslu s provedením analýzy spolehlivosti na základě sledovaných veličin dob trvání prostoje a dob mezi prostoji, které charakterizují bezporuchovost jednotlivých prvků dopravníkového systému.

Vytvořenou metodiku je možné rovněž chápat i jako přínos v teoretické oblasti, která přispívá k rozvoji nových směrů při využívání a aplikování simulačních metod v průmyslové praxi.

Tyto poznatky mohou být v nemalé míře aplikovány při výuce na FSI VUT v Brně Ústavu dopravní techniky zaměřené a specializující se na dopravní a manipulační zařízení.

Na základě velkého zájmu firmy Škoda Auto a.s. o využívání simulačních technologií a po úspěšném nasazení a implementování vytvořené metodiky popsané v této práci, byl na VUT v oblasti vědecko-výzkumných a vývojových prací vytvořen řešitelský tým na úrovni Ústavu ekonomiky a managementu - Fakulta podnikatelská a Ústavu dopravní techniky - Fakulta strojního inženýrství. Tento řešitelský tým se bude dále zabývat dalším vývojem a rozšiřováním vytvořených přístupů v této práci s cílem zaměřujícím se na integraci simulačních metod do podnikové struktury.

6.2 PŘÍNOSY PRO PRAXI

V rovině praktické bych chtěl upozornit na přínosy, které disertační práce přinesla a může přinést jak podnikům využívajícím počítačovou simulaci při řešení úloh souvisejících s problematikou materiálového toku, tak i samotným výrobcům těchto software.

Přestože praktická část této práce byla orientována na podniky se zaměřením na automobilový průmysl a navrhovaná metodika byla prakticky ověřena pouze ve společnosti Škoda Auto a.s., z důvodu časové náročnosti - vlastní projekt ověření trval téměř čtyři roky, je možné uplatnit tento navrhovaný přístup i v dalších podnicích orientovaných na sériovou, případně hromadnou výrobu.

Při takovémto novém pohledu využívání simulační techniky, kde se nejedná pouze o ojedinělé simulační studie realizované v určité projektové fázi s krátkou životností modelu, je možné docílit nejen nalezení nenákladných řešení, zajištění zisku a lepšího porozumění systému, ale i následujících přínosů:

- zvýšení kvality plánování,
- zabránění nadměrných kapacit,
- docílení výhodnějšího řízení procesu v rámci výroby,
- nižší časová náročnost na vytváření modelů,

- odbourávají se redundantně prováděné simulační studie různými odděleními,
- lépe se aplikují nové zkušenosti a poznatky,
- efektivně se navyšuje know-how na základě zkušeností z realizovaných projektů,
- je možné využívat synergických efektů (např. v rámci vyvinutých programových aplikací rozsáhlejším využíváním a aplikováním stávajících modelů apod.).

Na základě této práce a výsledků, které přinesla, byl tento způsob využívání počítačové simulace implementován do firmy Škoda Auto a.s.

Pro firmy, které vyvíjí a distribuují simulační systémy, může přinést tato práce podněty na zdokonalení a zlepšení jejich produktů jako například:

- rozšíření základní knihovny o nové prvky charakterizující jednotlivá dopravníková zařízení, případně u stávajících prvků zpřesnění jejich funkcí a činností, a to na základě podrobného zmapování používané dopravníkové techniky uvedené v této práci,
- možnost strukturování a vytváření komplexních modelů pomocí vnořených lokálních modelů představujících jednotlivé úseky dopravníkových oblastí, které jsou v detailní fázi plánování vytvářeny paralelně, kdy je možné jejich různým seskupováním a záměnou flexibilně vytvářet různé strukturové varianty dopravníkových systémů,
- vytvoření nových procedur a programových funkcí umožňujících různé využití simulačního modelu ve třetím stupni jeho detailnosti,
- vývoj nových rozhraní k výrobním databázím a programovým aplikacím používaných k řízení výroby umožňující snadnější aplikování on-line simulace.

6.3 POTENCIÁLY PRO DALŠÍ ROZVOJ DANÉ PROBLEMATIKY

S ohledem na další vývoj diskrétních simulačních systémů a jejich integraci do struktury DF související s prudkým rozvojem informatiky, nelze tuto problematiku považovat za uzavřenou a je možné dále definovat směry dalšího vývoje, kterými jsou:

- využívání virtuální reality jako nástroje pro ověřování a znázorňování dynamických procesů ve fázi detailního plánování materiálového toku,
- sjednocení 3D zobrazení všech probíhajících procesů (projektovaných v různých simulačních softwarech a systémech) v rámci materiálového toku do jediné scény, umožňující komplexní přístup řešení plánování a optimalizaci materiálového toku,
- propojení simulačních softwarů s podnikovými informačními systémy, umožňující získávání dat v reálném čase,
- možnost využívání on-line simulace již ve fázi náběhu výroby pro zajišťování plynulosti materiálového toku a včasné predikace možných úzkých míst,
- aplikování a rozšiřování využívání optimalizačních nástrojů založených na bázi simulace,
- další rozšiřování metodik a standardů k efektivnějšímu využívání simulační techniky při řešení dané problematiky.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

7.1 LITERATURA

- 1) JEŽEK, V. *Systémy automatické identifikace. Aplikace a praktické zkušenosti.* Praha: Grada, 1993. ISBN 80-7169-282-4.
- 2) PERNICA, P. *Logistický management /teorie a podniková praxe/.* Vydal RADIX, spol. s r. o., 1998.
- 3) BENADIKOVÁ, A. – MADA, Š. – WEINLICH, S. *Čárové kódy automatická identifikace.* Praha: Grada, 1994.
- 4) BÖHM, J. – RADOUCH, V. – HAMPACHER, M. *Teorie chyb a vyrovnávací počet.* Praha: Geodetický a kartografický podnik Praha, 1990.
- 5) PERNICA, P. *Logistika - pasivní prvky.* Praha: VŠE, 1994. ISBN 80-7079-316-3.
- 6) JANÍČEK, P. – ONDRÁČEK, E. *Řešení problémů modelováním /Téměř vše o téměř ničem/.* Brno: VUT v Brně, 1998.
- 7) ŠIKULOVÁ, M. – KARPÍŠEK, Z. *Pravděpodobnost a matematická statistika.* Skriptum. Brno: VUT v Brně, 1987.
- 8) SCHULTE, CH. *Logistika.* Vydalo nakladatelství Vicktoria Publishing, a. s., 1994.
- 9) WARNEKE, H. *Der Produktionsbetrieb I, Organisation, Produkt, Planung.* Berlin: Springer – Verlag, 1993.
- 10) KUHN, A. – RABE, M. *Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung.* Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- 11) KOŠTURIK, J. – GREGOR, M. *Podnik v roce 2001. Revoluce v podnikové kultuře.* Praha: Grada, 1993.
- 12) HARTBERGER, H. *Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme.* Berlin: Springer-Verlag, 1991.
- 13) PERNICA, P. *Logistika - Aktivní prvky.* Praha: VŠE, 1994. ISBN 80-7079-808-4.
- 14) JABLONSKÝ, J. – LAUBER, J. *Optimalizační a simulační modely operačního výzkumu.* Hradec Králové: Gaudeamus, 1997.
- 15) WANG, Y. *Methode für die simulationsunterstützte Optimierung am Beispiel von Montagesystemen,* München: Carl Hanser Verlag, 1994.
- 16) Entwurf der VDI-Richtlinie 3633. *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen,* VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß Logistik, 1996.
- 17) LIKEŠ, J. – MACHEK, J. *Počet pravděpodobnosti.* Praha: SNTL, 1981.
- 18) CYHELSKÝ, L. *Úvod do teorie statistiky.* Praha: SNTL, 1981.
- 19) HURT, J. *Simulační metody.* Praha: SPN, 1982.
- 20) PRITSKER, A. *Modeling and Analysis Using Q-GERT.* Networks, New York: Wiley, 1979.
- 21) AMANN, W. *Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen,* Berlin: Springer-Verlag, 1994.

- 22) SCHULZE, L. *Simulation von Materialfluß-Systemen*. Verlag Moderne Industrie Landsberg/L, 1988.
- 23) GROSS, I. *Logistika*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1996.
- 24) ŘEZNÍČEK, B. *Logistika*. Skriptum Doprávní fakulta Jana Pernera. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997.
- 25) JANÍČEK, P. *Technický experiment*. Skriptum. Brno: FS VUT Brno, 1998.
- 26) PERNICA, P. *Logistika – vymezení a teoretické základy*. Skriptum. Praha: VŠE v Praze, fakulta podnikohospodářská, 1995.
- 27) JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum*. Praha: VŠE, 1996.
- 28) MANLIG, F. Zefektivňování výroby výrobních systémů pomocí počítačové simulace. *Strojírenská technologie*, 2002, r. 7, č. 1, s. 29-31. ISSN 1211-4162.
- 29) ČSN 010102 Názvosloví spolehlivosti v technice.
- 30) EGERMAYER, F. – Boháč, M.: *Statistika pro techniky*. Praha: SNTL, 1984.
- 31) KUBÁT, J. - RIESS, M. *Logistické principy jako nástroj racionalizace pohybu materiálu ve výrobě a oběhu*. Praha: IMADOS, 1988.
- 32) PERNICA, P. *Zásobování velkých měst*. Praha: Merkur, 1983.
- 33) HOLUB, R. *Zkoušky spolehlivosti*. Brno: VA Brno, 1992.
- 34) HUŠEK, R. – LAUBER, J. *Simulační modely*. Praha: SNTL, 1987.
- 35) HABR, J. - VEPŘEK, J. *Systémová analýza a syntéza (moderní přístup k řízení a rozhodování)*, Praha: SNTL, 1973.
- 36) JUROVÁ, M. *Řízení výroby*. 1.vyd., Brno: Novotný Zdeněk, 2001. ISBN 80-214-2031-6.
- 37) ČSN 010103, Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav.
- 38) VDI-Richtlinie 3649. *Anwendung der Verfügbarkeitsrechnung für Förder- und Lagersysteme*, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß Logistik, 1992.
- 39) ČSN EN 13306: 2002, Terminologie údržby.
- 40) ČSN 010225:1980, Testy shody empirického rozdělení s teoretickým.
- 41) ČSN ISO 3534-1:1994, STATISTIKA-SLOVNÍK A ZNAČKY Část 1: Pravděpodobnost a obecné statistické termíny.
- 42) ČSN 010227, Aplikovaná statistika grafické metody zpracování údajů pravděpodobnostní sítě.
- 43) ČSN 010602:1985, Spolehlivost v technice – Hlediska třídění poruch a mezních stavů objektů.
- 44) ČSN 010222:1978, Aplikovaná statistika. Testy odlehlosti výsledků pozorování.
- 45) ČSN 010250:1972, Statistické metody v průmyslové praxi, 1972.
- 46) SEGER, J. - HINDLS R. *Statistické metody v tržním hospodářství*, Praha: Victoria publishing, 1995. ISBN 80-7187-058-7.
- 47) MAKOVEC, J. a kolektiv. *Organizace a párování výroby*, Praha: Ediční oddělení VŠE Praha, 1998. ISBN 80-7079-171-3.
- 48) RAIS, K. *Operační a systémová analýza*. Skripta. Brno: VUT V Brně, ISBN 80-214-1924-5.

- 49) VLČEK, R. a kolektiv.: *Hodnotová analýza*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1973.
- 50) VLČEK, R. *Příručka hodnotové analýzy*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986.
- 51) PEARCE, D. W. *Macmillanův slovník moderní ekonomie*. Praha: Victoria publishing, a.s., 1995, ISBN 80-85605-42-2.
- 52) VLČEK, R. *Hodnotový management*. Praha: Management Press, 1992. 80-85603-09-8.
- 53) ČSN 26 9010, Manipulace s materiálem, Šířky a výšky cest a uliček, 1993.
- 54) ČSN 26 9015, Skladování, Základní názvosloví, 1981.
- 55) ČSN 26 0001, Dopraní zařízení, Názvosloví a rozdělení, 1985.
- 56) ČSN 26 9004, Manipulační jednotky, Názvosloví, 1983.
- 57) ČSN 26 0002, Manipulace s materiálem, Názvosloví, 1982.
- 58) ČSN 26 9030, Manipulační jednotky – Zásady pro tvorbu, bezpečnou manipulaci a skladování, 1998.
- 59) ČSN 26 9017, Skladování, Názvosloví ploch a prostorů, 1986.
- 60) ČSN 26 9019, Skladování, Názvosloví zásob, 1988.
- 61) ČSN 26 9052, Paletové jednotky, Zkouška stohováním, 1993.
- 62) ČSN 26 9505, Regály, Názvosloví a rozdělení, 1981.
- 63) ČSN 26 0010, Transportní zařízení, Základní parametry, 1984.
- 64) HAHN, D. LASSEMANN G. *Productionswirtschaft-Controlling-industrieller Production Heidelberg*. Physica-Verlag, 1989.
- 65) HOBZA, M. *Organizace a řízení provozu dopravy 1.-3. díl*, Praha: VŠE, 1985-90.
- 66) JUNEMANN, R. *Materialfluss und Logistik*, Berlin: Springer – Verlag, 1989.
- 67) KORTSCHAK *Co je to logistika*, Praha: UDI, 1991.
- 68) RUPPER, P. *Produktions logistik?* Verlag Industrielle Organization. Zurich, 1986.
- 69) LÍBAL, V. a kolektiv. *Organizace a řízení výroby*, Praha: SNTL, 1983.
- 70) BANKS, J. a kol. *Discrete – Event System Simulation*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 3. vydání, 2001, ISBN: 0-13-088702-1.
- 71) NEKVINDA, M. - ŠRUBAR, J. - VILD, J. *Úvod numerické matematiky*. Praha: SNTL, 1976. 288 s.
- 72) VIDECKÁ, Z. - ŠUNKA, J. *Využití počítačové simulace v pedagogickém procesu*, In: Sborník ze semináře Witness 2002, Brno: VUT v Brně, 2002. ISBN 80-214-2353-6.
- 73) ŠUNKA, J. - VIDECKÁ, Z. - ROMPOTL J. *Simulation Tools in Production Management*, Symposium on the Entrepreneurship – Innovation – Marketing. Karlsruhe, 2003.
- 74) KŘIVÝ, I. – KINDLER, E. *Simulace a modelování*. Učební texty OSTRAVSKÉ UNIVERZITY, 2001.
- 75) CENDELÍN, J. - KINDLER, E. *Modelování a simulace*. Skripta ZCU Plzeň. Plzeň: Ediční středisko ZCU, 1994.

- 76) Kolektiv autorů. *Dohoda o chápání pojmu simulace systému*. Automatizace, 1986, roc. 29, c. 12, s. 299–300.
- 77) KINDLER, E. *Simulační programovací jazyky*. Praha: SNTL, 1980. 280 s.
- 78) KINDLER, E. - BREJCHA, M. *Objektově orientované programování*. Upravené vydání. Plzeň: Ediční středisko ZCU, 1994. 250 s.
- 79) MALÍK, M. *Počítačová simulace*. Skripta MFF UK. Praha: UK Praha, 1989. ISBN 80-7066-121-6. 535 s.
- 80) RÁBOVÁ, Z. *Modelování a simulace*. Skripta FEL VUT Brno. Brno: VUT Brno, 1992.
- 81) GAYLORD, R. J. - WELLIN, P. R. *Computer Simulations with Mathematica*. Explorations in Complex Physical and Biological Systems. New York: Springer-Verlag, 1994. ISBN 0-387-94274-2.
- 82) RAIS, K. *Základy optimalizace a rozhodování*. 3. vyd. Brno: PC-DIR, 1998, ISBN 80-214-1212-7.
- 83) ŠUNKA, J. *Využití diskrétní počítačové simulace a její trendy*, In Možné trendy rozvoje průmyslu, Mezinárodní konference Fakulty podnikatelské, 1. vyd., Brno, 2003. ISBN 80-214-2518-0.
- 84) NOCHE, B. *Simulation in Produktion und Materialfluss: entscheidungsorientierte Simulationsumgebung*. TÜV Rheinland, Köln. 1990.
- 85) WILSON, J. R. *Variance Reduction: The Current State*. Mathematics and Computers in Simulation. Vol. XXV, No. 1, 1983.
- 86) KUHN, A. - REINHARDT, A. - WIENDAHL, H. P. (Bd.-Hrsg.): *Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik*. Reihe Fortschritte in der Simulationstechnik, W. Ameling (Hrsg.), Band 7. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1993.
- 87) MANLIG, F. „Optimierung“ von Fertigungsprozessen mit Rechnersimulation - Ein Analysebericht, TU Dresden, IPT, PAS-Forschungsergebnisbericht, 2001.

7.2 DALŠÍ ZDROJE NA INTERNETU

- 88) VOSÁTKA, J. Dostupné z URL
<<http://nb.vse.cz/~vosatka/cviceni%204.doc>>
- 89) SOŠKA, O. *Vzorce – nauka o podniku*. [cit.2003-18-5]. Dostupné z URL
<http://www.vysokeskoly.cz/soska/public/vzorce_nop.pdf>.
- 90) *Nauka o podniku*, studijní materiály (FIS VŠE). [cit.2003-3-5]. Dostupné z URL: <<http://sorry.vse.cz/~xdvop15/skola/studium/ZPH/pe.doc>>.
- 91) *SDZ GmbH*, Dortmund. Dostupné z URL: <<http://www.sdz.de/>>.
- 92) *Základy statistiky*. Dostupné z URL:
<<http://ucebnice.euromise.cz/index.php?conn=0§ion=biostat1>>.
- 93) ZVÁROVÁ, J. *Základy statistiky pro biomedicínské obory*. Dostupné z URL
<<http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/node1.html>>.
- 94) ŘEZANKOVÁ, Ř. - MAREK, L. - VRABEC, M. *Interaktivní učebnice statistiky*. Dostupné z URL <<http://badame.vse.cz/iastat/>>.
- 95) ZVÁROVÁ, J. *Základy statistiky pro biomedicínské obory*. Dostupné z URL
<<http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/statist.html>>.
- 96) *Simulation-enabled business transformation—simulation, optimization, BAM, BPM*. Lanner Group, Inc. Dostupné z URL <<http://www.lanner.com>>.
- 97) *Simulace a optimalizace podnikových procesů*. HUMUSOFT s.r.o. Dostupné z URL <<http://www.humusoft.cz>>.
- 98) *Fachinformation*, VW intranet. Dostupné z URL <<http://doibibla.wob.vw.de>>.
- 99) Normy, *Škoda intranet*. Dostupné z URL
<<http://popular.tv.skoda.vwg/normy/asp/start.asp>>.
- 100) Suchmaschine im Volkswagen Wide Web, *VW intranet*, Dostupné z URL <<http://vww.wob.vw.de/deutsch/suchen/>>.
- 101) *The Math Forum*, e-Optimization.com, Dostupné z URL
<<http://www.e-optimization.com/resources/>>.
- 102) ŠIROKÝ, Jaromír. *Modelování a simulace*. Dostupné z URL
<http://fs1.vsb.cz/~s1i95/appr/simul/sim_ram.htm>.
- 103) WEIGERT, G. - WERNER, S. - HAMPEL, D. ROSI - Ein Programmsystem zur Simulation und Optimierung von Fertigungsprozessen. *Simulation in Produktion und Logistik 9*. ASIMFachtagung. Berlin, März 2000. Berlin: IPK, 2000. S. 463 – 472. Tagungsband. Dostupné z URL
<<http://www.iet.et.tu-dresden.de/ROSI/pdf/asim2000.pdf>>.
- 104) WEIGERT, G. - WERNER, S. - FRIEDENSTAB, M. *Simulation und Visualisierung*. Simulation einer SMT-Fertigung - von der Ereignissteuerung zur 3D-Animation. Magdeburg, Mrz 2001. Magdeburg: TU, 2001.S.103 – 114. Dostupné z URL <<http://www.iet.et.tudresden.de/ROSI/pdf/simvis01.pdf>>.
- 105) HEILALA, J. *Use of simulation in manufacturing and logistics system planning*, 1999. [cit.2003-14-8]. Dostupné z URL
<www.automationit.hut.fi/julkaisut/documents/seminars/sem_a99/heilala.pdf>

8 VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

- 1) ŠTOČEK, J. – ŠPIČKA, J. – DEMEL, J. Analýza materiálového toku výroby vrtáků a návrh optimálního toku mezi výrobními bloky, pro *INPRO a.s. inženýring 700 Zlín*. [Výzkumná zpráva.] Brno: ÚDT FSI VUT v Brně, 1998.
- 2) ŠTOČEK, J. – ŠPIČKA, J. Možnosti modelování v softwaru AweSim. *Zdvihací zařízení v teorii a praxi*, Brno: VUT Brno, 1999. s.175–180 ISBN 80-214-1329-8.
- 3) ŠTOČEK, J. Simulační studie svařovny A5 Mladá Boleslav. [Výzkumná zpráva k projektu SK 35x]. ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav 2002.
- 4) ŠTOČEK, J. Studie průchodu karoserií evidenčním bodem L100 (vstup karoserií do lakovny v závodě Mladá Boleslav) na základě analýzy dat. [Výzkumná zpráva k projektu SK 451]. ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav 2002.
- 5) ŠTOČEK, J., HITHA K. Simulace logistických procesů. In *časopis Logistika*. Praha: *Economia*, 2003, s. 23–24, ISSN: 1211-0957.
- 6) ŠTOČEK, J. Průběh simulačního projektu ve Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav, In *Logistická konference „Logistika v praxi“*, DYNAMIC FUTURE s.r.o., Pohořelice 2003.
- 7) ŠTOČEK, J. Využívání diskrétní simulace pro plánování dopravníkových systémů. In *Nové trendy rozvoje průmyslu*, Brno: VUT v Brně, 2003. ISBN 80-214-2518-0.
- 8) ŠTOČEK, J. – ŠUNKA, J. – HITHA, K. Využití simulačních nástrojů pro plánování a řízení výrobních procesů. In *Průmyslové inženýrství*, Plzeň: ZČU v Plzni, 2003. ISBN 80-7043-242-X.
- 9) ŠTOČEK, J. - ŠUNKA, J. Využití metodiky postupného zpřesňování simulačního modelu na příkladu konkrétního projektu. In *7. konference Witness 2004*. ISBN 80-214-2671-3.

Abstract

This work was written with the effort to provide better information about possibilities and usage of nowadays programming tools for planning and optimization of material flow realized by transport and manipulation devices. Discrete simulation method belongs to one of these tools.

This method is so far not very often used, especially because of insufficient knowledge about its possible application and the absence of a sophisticated methodology focused on application of simulation during the production lifecycle, beginning in planning, continuing in construction stage and ending by the own production - as it is usually mentioned in science articles and other publications concentrated on this range of problems.

From the content mentioned above results the main goal of this work – to create a methodology and to suggest more progressive approaches for usage of new tools for material flow planning and optimization, with evaluation under practical conditions.

Factors having impact on material flow are defined and made clear in this work. These factors are the objects of interest during material flow optimization. Methods focused on analysis, management and material flow optimization mostly used in production logistics were deeply studied and are mentioned in this work as well.

Separate and most important paragraph representing the main part of this work is the suggestion of the methodology for continuous specification of simulation model during significant project stages of new production equipment planning (planning, construction, own production). Simulation is periodically used for more and more detailed simulation model, which corresponds to the current reality, as a strong tool for high quality planning and allows to handle with material flow dynamic processes with regard to different requirements on production and logistics strategy. Thank to its wide application during the entire production cycle, it is possible to continuously solve questions and problems such as the buffer and warehouses capacity, workplaces layouts, decision concerning the type and number of conveyors and other transport devices etc., finally, the evaluation of the production mix impact on the fluency and material throughput of the conveyor system can be done as well.

For the evaluation of suggested approaches under practical conditions it was necessary to study and analyze available conveyors and similar transportation devices. Based on a created classification of individual elements of the conveyor system, also analysis of their reliability was processed (find out from the times of breakdowns and failures and times between these negative situations). The results of obtained and analyzed values serve as informative and input values for simulation model parameter settings, with the aim to evaluate the reliability of planned conveyor system and its impact on material flow.

The overall outcome of this work is the creation of new approaches how to use and apply simulation for different tasks in different production stages cohering with

the material flow optimization in logistic chains. So specifically focused work and its outcomes achieved can be applied for:

- wider application of simulation in middle and big manufacturing companies for these purposes,
 - the development of both programming applications used in simulation tools and other programming interfaces allowing the integration of simulation systems with CAx techniques,
 - expansion regarding new directions for theory in this certain area.

With these outcomes this work tries to bring new ideas and shows with the methodology and approaches new directions in computer simulation usage. This was demonstrated also by the results achieved during its evaluation under practical conditions, which are a good motivation for wider application of simulation in manufacturing companies.