



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH ŘÍZENÍ DOPRAVNÍKOVÉ TECHNIKY ŘEŠÍCÍ DODRŽENÍ POŘADÍ ZAKÁZEK PŘI PRŮCHODU VÝROBNÍ OBLASTÍ POMOCÍ DISKRÉTNÍ SIMULACE

DESIGN OF CONVEYOR SYSTEMS TO ADDRESS COMPLIANCE WITH THE SEQUENCE
OF ORDERS PASSING THROUGH PRODUCTION AREAS USING DISCRETE EVENT
SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN ČTVERÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Čtveráček

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh řízení dopravníkové techniky řešící dodržení pořadí zakázek při průchodu výrobní oblastí pomocí diskrétní simulace

v anglickém jazyce:

Design of conveyor systems to address compliance with the sequence of orders passing through production areas using discrete event simulation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte logiku řízení dopravníkové techniky ve stávající výrobní oblasti s ohledem na dodržení stanovených hodnot vybraných charakteristik. Tuto logiku ověřte pomocí simulačního modelu daného výrobního systému.

Cíle diplomové práce:

Vytvořte pojmový model výrobního úseku v rámci provozu lakovny v závodě Škoda Mladá Boleslav. Navrhněte dále logiku řízení vstupu karoserií do linky vrchního laku tak, aby byly splněny zadané okrajové podmínky určené technologickými omezeními.

Vytvořte simulační model analyzovaného systému v prostředí Plant Simulation a na základě shody dosažených hodnot důležitých charakteristik materiálového toku proveďte validaci modelu s ohledem na současný stav systému.

Proveďte sérii simulačních experimentů a zhodnoťte dopady navržené logiky řízení na stanovené podmínky dodržení technologických omezení provozu lakovny.

Během vytváření modelu a vyhodnocování dat využijte softwarové nástroje používané ve společnosti Škoda Auto.

Seznam odborné literatury:


1. Štoček, J.: Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě, Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně, FSI VUT v Brně 2004, ISBN.: 80-14-2885-6 [doktorská práce].
2. BANKS .., Jerry.. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, 2009. ISBN 978-013-8150-372.
3. LAW, Averill M. Simulation modeling and analysis. 4. ed., internat. ed. Boston [u.a.]: McGraw-Hill, 2007. ISBN 00-712-5519-2.
4. ZEIGLER, Bernard P. Theory of modelling and simulation. New York: Wiley, c1976, xxii, 435 p. ISBN 04-719-8152-4.
5. BANGSOW, Steffen. Use cases of discrete event simulation: appliance and research. 1st ed. New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2287-763.
6. Uživatelské manuály a příručky software Plant Simulation a APP

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

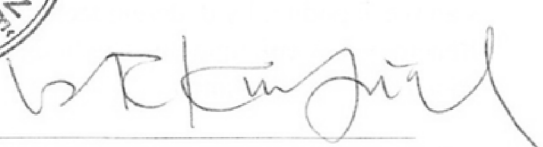
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 11.11.2013





prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato práce se zaměřuje na využití diskrétní simulace ve velkém výrobním závodě ke zlepšení logiky řízení daného výrobního úseku. Konkrétně se jedná o výrobní závod ŠKODA AUTO a.s. se sídlem v Mladé Boleslavi a řešeným výrobním uzlem je oblast lakovny. V jednotlivých kapitolách se práce zaměřuje na použitou dopravníkovou techniku, základy diskrétní simulace, následné vypracování virtuálního modelu, provedení simulačních experimentů a návrh nového řešení. Na závěr práce obsahuje zhodnocení navrhovaného řešení vzhledem k původnímu řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Diskrétní simulace, Plant Simulation, Škoda Auto, lakovna, materiálový tok, logistika.

ABSTRACT

This thesis is focused on using discrete event simulation in a large plant in order to improve the control logic of the production department. Specifically it's about the factory ŠKODA AUTO a.s. located in Mladá Boleslav and solved production node is the paint shop area. The chapters of this thesis are focused on used conveyor technology, basics of discrete event simulation, the subsequent development of a virtual model, design of simulation experiments and concept of a new solution. At the end of this work evaluation of proposed solution with comparison to the original solution is included.

KEYWORDS

Discrete event simulation, Plant Simulation, Škoda Auto, paint shop, material flow, logistic.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČTVERÁČEK, M. *Návrh řízení dopravníkové techniky řešící dodržení pořadí zakázek při průchodu výrobní oblasti pomocí diskrétní simulace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 83 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Martin Čtveráček



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat pánům doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. a Ing. Jiřímu Hloskovi za cenné rady a připomínky při vedení mé závěrečné práce. Dále bych chtěl rovněž poděkovat svým kolegům ze ŠKODA AUTO a.s. za vytvoření kvalitního pracovního prostředí a poskytnutí cenných metodických informací během mého praktikantského pobytu.

V neposlední řadě chci touto cestou vyjádřit poděkování své rodině a přítelkyni Adéle za neskonalou a vytrvalou podporu při studiu, bez které by tato práce nevznikla.



OBSAH

Úvod	10
1 Cíl a členění práce	12
2 Současný stav poznání.....	13
2.1 Analýza materiálového toku	13
2.1.1 Materiálový tok	14
2.1.2 Identifikace a sběr dat.....	15
2.1.3 Interpretace získaných dat	18
2.1.4 Optimalizace	21
2.2 Dopravníková technika	22
2.2.1 Obecné rozdělení	23
2.2.2 Skidový dopravník a jeho části.....	24
2.2.3 Závěsový dopravník (EHB).....	29
2.3 Simulace.....	31
2.3.1 Definice simulačních pojmů	32
2.3.2 Smysl a použití počítačové simulace.....	33
2.3.3 Metodika řešení simulačního projektu	35
3 Analýza výrobní oblasti.....	40
3.1 Popis výrobní oblasti	40
3.1.1 Lakovna M11A.....	41
3.1.2 Lakovna M11B	42
3.2 Zásobník na tvorbu barevných bloků.....	43
3.2.1 Barevný Blok (BB).....	44
3.3 Tvorba pojmového modelu	46
3.3.1 Analýza dat	46
3.3.2 Dispoziční rozmístění zásobníku.....	48
3.3.3 Logika řízení.....	49
4 Praktická část.....	52
4.1 Současný stav.....	52
4.1.1 Popis tvorby simulačního modelu	52



4.1.2	Verifikace modelu	57
4.1.3	Validace modelu	58
4.2	Navrhované řešení	63
4.2.1	Změny týkající se dopravníkové techniky	63
4.2.2	Úprava simulačního modelu a tvorba uživatelského rozhraní.....	65
4.2.3	Logika řízení.....	68
4.2.4	Simulační experimenty navrhovaného řešení.....	69
4.3	Srovnání stávajícího a navrhovaného řešení.....	71
5	Shrnutí výsledků.....	74
	Závěr.....	75
	Seznam použitých zkratk a symbolů	79
	Seznam obrázků.....	81
	Seznam tabulek.....	82
	Seznam příloh.....	83



ÚVOD

Hlavním cílem ve společnosti je činit podložená a správná rozhodnutí a to jak na úrovni společenské, tak na úrovni profesionální. Důležitým činitelem v tomto jednání je především rychlost a korektnost rozhodnutí. Dostupným a efektivním pomocníkem při rozhodování může být využití diskretní simulace jakožto nástroje k předpovědi úspěšnosti daného řešení. Pomocí simulačního modelu a jeho následného testování lze s určitou přesností, která je především závislá na míře detailnosti modelu, obdržet data potřebná ke správnému posouzení situace.

První historický krok k použití diskretní simulace pomocí různých speciálních softwarů tak, jak jsou známy dnes, je úzce spojen s vývojem výpočetní techniky a především programovacích jazyků. Programovací jazyky pro účely diskretní simulace se začaly vyvíjet přibližně kolem roku 1962, což uvádí literatura [1]. Rozhraní tehdejších aplikací bylo pouze textové, jak lze vidět na Obr. 1-, kde je vždy v levé části strany ukázka programového kódu a v pravé části strany je vysvětlen jeho význam.

<p>EXAMPLE FOR I.F.O.R.S. PAPER</p> <p>R1-5 B1 0 0 0 B3 T1-5 1 0 0 0 1440 U5 1440 Z</p> <p>PARAMETERS</p> <p>R-U11 +.462 +1000 +.576 +.4 L R-W12 +.529 +46913 +75859 +129459 -5612 +3095 L R-W13 +.371 +228219 -98655 +260848 -9995 +9162 L R-W14 +.293 +120440 -30872 +45456 -4360 +2879 L R-W15 +.801 +76869 +18834 +176332 -7907 +2895 L R-W16 +.427 +228218 -98632 +228080 -9993 +9161 L R-W17 +.516 +28675 +61077 +66404 -3897 +3295 L Z</p> <p>DURATION 14400 TRANSLATE C1 PROCESSING x ≠ 0 n/2, A(n + 2), U = 0. Q(n + 2) → XYZ T11 v → SAMPLE R(n + Q(n + 2) + 12) V(n + 2) - T + TIME, U → 1, D x - 1 K C2 UNLOADING A4 n/2, A(n + 2), U = 1. v → 3 W - T + TIME, U → 0, D Q4 → Q(n + 2), D THEN B2 K Z</p>	<p><i>Title of job.</i></p> <p><i>Initial values for time-dependent machines, 1-5.</i></p> <p><i>Parameters for routines SAMPLE and NEGEXP, defining distributions, etc.</i></p> <p><i>Simulation to run for 10 days at a time.</i> (End of Initial Conditions.)</p> <p><i>Activity C1</i> If there is a non-zero queue, and an available unloaded machine, select process time for m/c and quality, record which quality this item is, up-date idle time, start processing, and reduce queue by one. ('K' marks end of Activity.)</p> <p><i>Activity C2</i> If the crane is available, and if there is an available loaded machine, set (constant) unloading time, up-date waiting time, start unloading, record quality, and commit the crane. (End of C-Activities.)</p>	<p>B1 ARRIVALS</p> <p>v → NEGEXP R11/S Pn + 1, D x + 1, x > W, W → X K</p> <p>B2 TRANSPORT TO STOCK</p> <p>v → SAMPLE R(14 + Qn) Rn → 0, D H, P1 - 1 H, P ≠ U2 + U3 + X, H, STOP K</p> <p>B3 REPORT RESULTS</p> <p>PRINT.C W1 PRINT.A V2 PRINT.E W2 PRINT.A V3 PRINT.E W3 Wn → (V2 + W2 + V3 + W3) Wn → MULTIPLY Wn/50 Wn → DIVIDE.B Wn/T PRINT.A Wn v → Un Dn W1 → x K Z</p> <p>COMPILE</p> <p>XYZ 5.6 700 6 100 0 0717 0.1 1037 0 600 5.1 162 1.4 600 5.1 060 3 -000. 0 +0 +0 +0 14 600 5.1 610 5.6 710 0.0 7007 1.6 720 7 650 F</p>	<p><i>Activity B1</i> Select next arrival interval, up-date no. of items in system, add 1 to queue, and if it now exceeds previous maximum, record new maximum.</p> <p><i>Activity B2</i> Select transport time for given quality, cancel B2, and start transporting. Reduce items in system by 1, and check for consistency with m/c-states. (Note: 'H' allows operator to suppress these statements.)</p> <p><i>Activity B3</i></p> <p><i>Print:</i></p> <p>TIME, MAX. QUEUE TODAY IDLE TIME, WAITING TIME (m/c 1) IDLE TIME, WAITING TIME (m/c 2) PER CENT LOST TIME SO FAR</p> <p>Reset reporting m/c to operate again after one day. Reset max. queue for tomorrow.</p> <p>(End of B-Activities.) (End of Activities.)</p> <p><i>Subroutine XYZ</i> Here, the text of the subroutine is supplied in Pegasus order-code. It will be incorporated in the specification of the model. (The routine produces one of two results: the quality '3' or the quality 'zero'. The former appears with probability given by element U11. A pseudo-random number stored in T11 is used.)</p>
---	--	---	--

Obr. 1- Ukázka programovacího jazyku GSP [1]



Od té doby se uživatelské prostředí diskretních simulačních programů výrazně zjednodušilo, v mnoha částech se integrovalo do grafických či jiných prvků, avšak nutnost využití programovacího jazyku přetrvává v simulačních programech dodnes. Zároveň s rozvojem výpočetní techniky přibyla možnost vizualizace a grafického zpracování, čehož se hojně využívá ve výrobních podnicích a firmách k prezentacím výsledků simulací. Je tomu tak i v závodě ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav, kde grafické výstupy ze simulačních modelů pomáhají při prezentacích projektů¹. Posлуhač se s jejich pomocí rychleji zorientuje v řešené problematice. Firma Bosch Diesel Jihlava využívá grafických výstupů například ke znázornění pohybu zásobovacích vozíků na trasách mezi jednotlivými výrobními halami v areálu závodu, viz přílohy literatury [2].

Mezi používané simulační programy pro diskretní simulaci patří například Witness, Sim-Pro, AweSim, Arena, Plant Simulation a další. V této práci je používán software Plant Simulation z portfolia Tecnomatix od firmy Siemens. Tyto softwary jsou nejvíce využívány velkými firmami jako ŠKODA AUTO a.s. nebo firmami s rozsáhlým logistickým řetězcem a to především proto, že práce s těmito softwary vyžaduje dostatečně kvalifikované pracovníky a pracovní prostředí vybavené moderní výpočetní technikou. Benefitem pro uživatele při využití simulačních programů je potom například podložení důležitých rozhodnutí a rychlejší adaptace a inovace v rámci konkurenčních změn. Přínosem zmíněných inovací je snížení výrobních či logistických nákladů na provoz. Využití simulačních softwarů je ale nutno zvážit, protože některým firmám, jak se zmiňuje autor v literatuře [3], se náklady na licence nevyplatí. Mají však možnost si zajistit simulační studie externě.

¹ Příkladem je grafické zpracování výrobní oblasti, jež je předmětem této práce – zásobník barevných bloků a také simulační model systému tří zvedáků v příloze II (str. PII - 1).



1 CÍL A ČLENĚNÍ PRÁCE

Cílem této práce je posouzení navrhované varianty zlepšující parametry úseku dopravníkové techniky ve výrobním závodě. Podstatou vedoucí k dosažení tohoto cíle je vypracování zadaného projektu ve spolupráci s výrobním závodem ŠKODA AUTO a.s. Součástí projektu je návrh logiky řízení dopravníkové techniky ve výrobní oblasti, konkrétně v oblasti lakovny. Tato logika bude ověřena pomocí simulačního modelu.

K dosažení tohoto cíle je potřeba splnit několik konkrétních kroků, mezi které v první řadě patří vytvoření pojmového modelu dané výrobní oblasti v areálu lakovny M11/B v závodě ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Následným krokem je návrh logiky řízení vstupu karoserií do linky vrchního laku tak, aby byly splněny všechny zadané podmínky určené technologickými omezeními. K tomu je nutno vytvořit simulační model analyzovaného systému, který bude verifikován a validován na základě shody dosažených hodnot důležitých charakteristik materiálového toku s ohledem na současný stav systému. Navrhovaná logika řízení a změny v dopravníkové technice budou vycházet z takto ověřeného simulačního modelu, na kterém bude provedena série simulačních experimentů. Na základě výsledků simulačních experimentů bude provedeno zhodnocení dopadů navržené logiky řízení a provedených změn dopravníkové techniky na stanovené podmínky dodržení technologických omezení provozu lakovny.

Postup při psaní této práce je inspirován metodikou doporučenou v literatuře [4]. Následné členění dokumentu vychází ze základních předpokladů logického uspořádání díla a rozděluje ji tak na tři základní části: teoretickou, analytickou a praktickou část. V teoretické části nazvané „Současný stav poznání“ je práce zaměřena na všechny aktuální dostupné informace z oblasti materiálového toku, dopravníkové techniky a simulací, jež jsou potřebné k pochopení a vyřešení vytyčeného cíle. Analytická část, nazvaná „Analýza výrobní oblasti“, se věnuje rozboru současného stavu systému s ohledem na omezující technologické podmínky, přičemž její kapitoly se věnují praktické analýze materiálového toku, zpracování dostupných dat z reálné výroby a vytvoření pojmového modelu. V praktické části je zpracována tvorba simulačního modelu a návrh zlepšení logiky řízení s ohledem na technologické parametry výrobního úseku lakovny spolu s testováním a zhodnocením dopadů takto navržené logiky na reálný systém. Před samotným závěrem práce je uvedena kapitola shrnující výsledky provedených experimentů, analýz a simulačních běhů.



2 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

V první kapitole této části je uvedeno shrnutí informací týkajících se materiálového toku, který úzce souvisí s logistikou². Další kapitola se věnuje výčtu dopravníkové techniky a je zde popsána vybraná dopravníková technika používaná ve ŠKODA AUTO a.s. Třetí kapitola se zabývá základními pojmy a principy virtuální simulace, zvláště pak principy diskrétní simulace.

2.1 ANALÝZA MATERIÁLOVÉHO TOKU

Z hlediska řízení podniku je důležité mít dostupné informace o pohybu vyráběného produktu, zpracovávaných dílů a materiálu a o rozmístění skladů či zásobníků. Tato získaná data jsou pak využívána jako základní vstupní údaje pro různé předpovědi trendu chování systému nebo například v simulačních modelech se pomocí nich ověřuje správná funkčnost modelu v porovnání s reálným systémem. Je proto nezbytné mít povědomí o získávání a zpracování dat ve výrobním podniku.

Základním prvkem jakékoli výroby je manipulace s materiálem, která je primárně založena na fyzickém přemísťování materiálu. V širším pojetí lze mezi manipulaci s materiálem řadit operace týkající se přemísťování, skladování, balení, vážení, měření, počítání a třídění všech hmotných částí ve výrobním procesu i oběhu. Z hlediska materiálového toku se manipulace s materiálem uvnitř podniku dělí na [6]:

- ložné operace,
- meziobjektovou dopravu,
- skladování,
- vnitroobjektovou manipulaci,
- obalové hospodářství,
- manipulaci s odpadem.

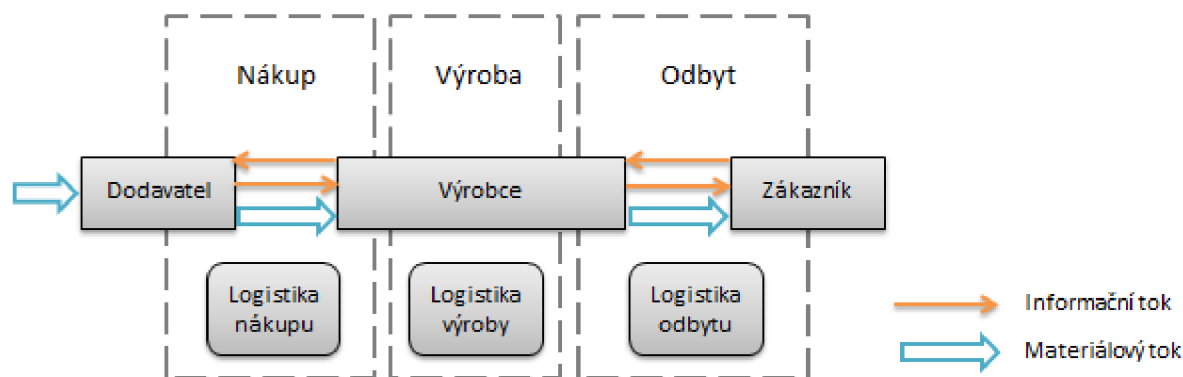
Sledování a vyhodnocování těchto operací je pro úpravu logiky výrobní oblasti důležité, protože tyto operace se navzájem ovlivňují a souhrnně tvoří materiálový tok, který je blíže definován v první podkapitole této části práce. Identifikaci karoserií ve výrobě a sběru dat je potom věnována druhá podkapitola, po které následují kapitoly interpretace a optimalizace.

² Logistika - integrované plánování, formování, provádění a kontrolování hmotných a s nimi spojených informačních toků od dodavatele do podniku, uvnitř podniku a od podniku k odběrateli[5]. Vnitropodniková logistika se zabývá logistikou uvnitř podniku.



2.1.1 MATERIÁLOVÝ TOK

Materiálový tok je součástí logistického řetězce, což je ve volném výkladu dynamické propojení trhu od výrobce (včetně dodavatelů) po zákazníka s vazbou na konkrétní produkt. Zjednodušený³ logistický řetězec je znázorněn na Obr. 2- a skládá se z hmotné a nehmotné části. Hmotnou částí je právě materiálový tok, který je také dle literatury [5] označován jako „fyzická část materiálového řetězce“. Nehmotnou částí je tok informací. [3]



Obr. 2- Zjednodušený logistický řetězec (zpracováno dle [7])

Logistický řetězec obsahuje [8]:

- **Pasivní prvky** – věci probíhající logistickým řetězcem.
 - Suroviny, základní pomocný materiál, díly, nedokončené a hotové výrobky, informace o pohybu materiálu.
- **Aktivní prvky** – prostředky, které realizují pohyb pasivních prvků.
 - Technické prostředky a zařízení pro manipulaci, přepravu, skladování, balení, fixaci. Dále zařízení pro přenos a operace s informacemi.

Materiálový tok je poté dle literatury [8] definován jako: „*pohyb materiálu ve výrobním procesu nebo oběhu, prováděný pomocí aktivních prvků cílevědomě tak, aby materiál⁴ byl k dispozici na daném místě a v potřebném množství, nepoškozený, v požadovaném okamžiku, a to s předem určenou spolehlivostí.*“

V rámci výrobního podniku lze materiálový tok charakterizovat směrem, rychlostí, intenzitou, délkou, výkonem, frekvencí i počtem manipulačních operací uskutečněných v jeho průběhu. Z uvedených charakteristik je na další straně popsána intenzita materiálového toku. [3]

³ Detailněji zpracovaný logistický řetězec je k nalezení v literatuře [8] na stranách 125-133.

⁴ Materiál – pojem, označující suroviny, základní a pomocný materiál, díly, nedokončené a hotové výrobky, obaly a odpad, bez ohledu na to, zda je pevný, kapalný nebo plyný, resp. zda je přemísťován volně ložený, v jednotlivých kusech nebo ve formě manipulačních či přepravních jednotek (např. paletových jednotek). [8]



Intenzitu materiálového toku, která je dle literatury [9] definována jako: „*množství materiálu, které se pohybuje v časové jednotce okolo určitého bodu, tzn. jaké množství daného druhu materiálu je třeba v určitém čase přepravit mezi jednotlivými místy výroby*“, lze také vyjádřit vztahem [3]:

$$I = \frac{n * P}{t}, \quad (1)$$

kde n je počet jednotlivých výrobků, P je jednotka, ve které je manipulovaný materiál kvantitativně hodnocen (např.: objem, hmotnost, 1 kus) a t je jednotka času.

2.1.2 IDENTIFIKACE A SBĚR DAT

Zde jsou popsány a vysvětleny pojmy jako evidenční bod, TPS štítky a identifikační číslo zakázky. Dále pak informační systémy, které shromažďují tato data a zajišťují tak tok informací ve výrobě.

Identifikaci karoserií ve výrobě lze provádět buď ručně (manuálně) nebo automaticky. Automatická identifikace spočívá ve strojovém zjištění informací o objektu a její výhodou je vyšší rychlost a spolehlivost získávání informací. Zároveň usnadňuje identifikaci v extrémních podmínkách, kterými mohou být – zvýšená teplota (např. u sušicí pece v lakovně), vlhkost, prašnost a toxicita. Systém automatické identifikace se skládá z identifikátoru (označení) připevněném na sledovaném objektu, čtecího zařízení, programovatelné jednotky, vyhodnocovací jednotky, příslušného softwaru a komunikační infrastruktury. [10]

K automatické identifikaci se využívají tyto technologie [11]:

- Čárové kódy – optický princip.
- Radio Frequency Identification – RFID (přenos pomocí rádiových vln).
- Hlasová technologie.
- Světelná technologie.
- Magnetická technologie.
- Biometrická technologie.

Nejčastěji využívané jsou technologie optické a RFID, jejichž vlastnosti jsou především [11]:

RFID – nutná rádiová viditelnost štítku, v průběhu procesu lze měnit data ve štítku, delší čtecí vzdálenost, možnost čtení více kódů naráz, možnost uložení většího množství informací.

Optika – nutná vizuální viditelnost štítku, nelze měnit data ve štítku, časem ověřené.



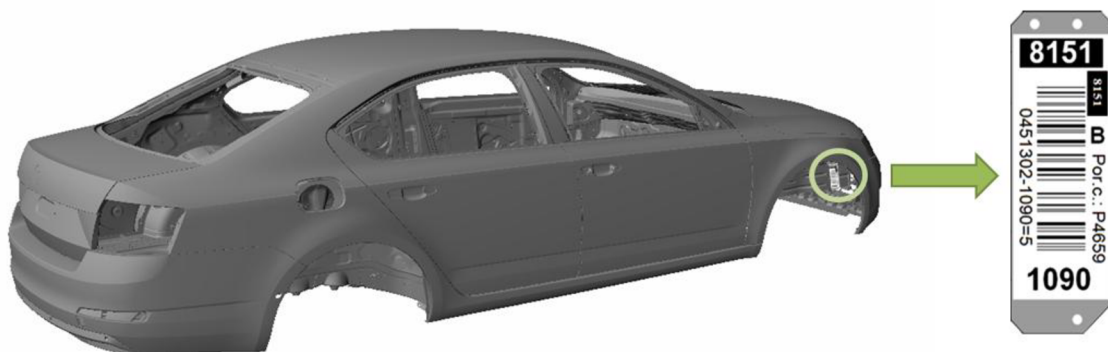
EVIDENČNÍ BOD (EB)

Je to dané kontrolní místo ve výrobě, kde se zaznamenávají průchozí karoserie. Takových bodů je více v průběhu celého materiálového toku a jsou rozmístěny od svařovny až po expedici hotového vozu. Informace z těchto bodů jsou sbírány do řídicího systému a poskytují tak přehled o pohybu zakázek (karoserií) výrobou. Evidenční body lze rozlišit dle řízení⁵ [3]:

- Lokálním řídicím systémem – informace o zakázce jsou používány pro dopravníková zařízení, technologie konkrétní linky, monitorování stavu a průběhu zakázek v určité části výroby.
- Nadřazeným řídicím systémem (FIS).

IDENTIFIKACE KAROSERIÍ VE VÝROBĚ

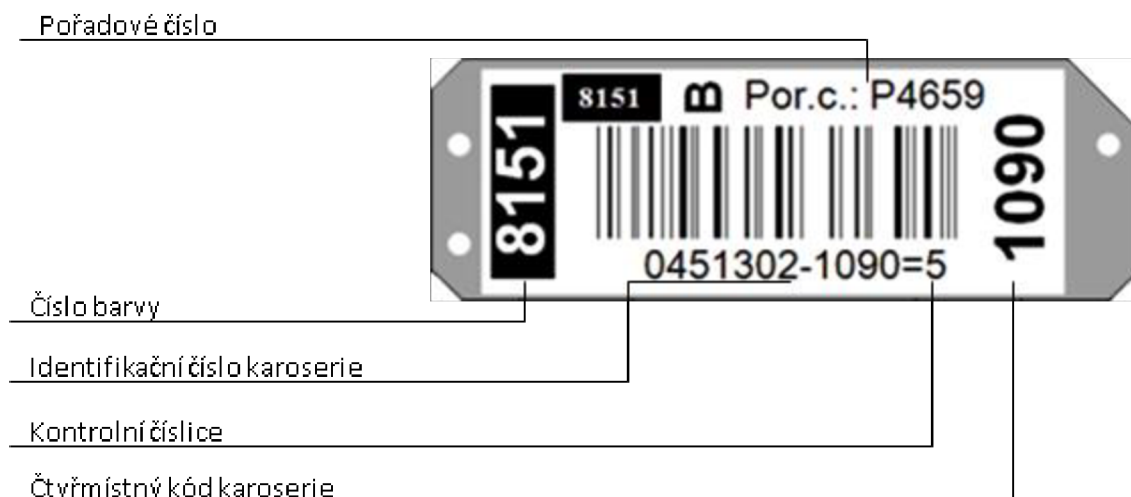
Karoserie jsou ve výrobě Škoda Auto Mladá Boleslav identifikovány opticky, pomocí TPS (TagesProductionSchild) štítků. Jsou umístěny na přední části karoserie a obsahují čárový kód, který se snímá na daných evidenčních bodech. Na Obr. 2- je zobrazeno umístění TPS štítku na karoserii a na Obr. 2- je uveden popis informací, které obsahuje.



Obr. 2- Umístění TPS štítku na karoserii Octavie 3. Generace (zpracováno dle [3])

Snímání čárového kódu probíhá buď pomocí stacionárního scanneru – jedná se o automatický evidenční bod (EB), nebo ručním skenováním, které je prováděno pracovníkem na daném umístění – manuální EB. Jištění proti nečitelnosti je u automatického EB zabezpečeno pomocí kamery, která snímá místo karoserie s čárovým kódem a ten lze potom zpětně zadat z dispečinku. V případě manuálního EB může pracovník zadat kód na klávesnici.

⁵ Viz Obr. 2-, z kterého je patrné uspořádání řídicích systémů.



Obr. 2- Popis TPS štítku (zpracováno dle [3])

Využití RFID technologie je stále častější a jejím principem je umístění tagu (transpondéru) na sledovaný objekt. Ke komunikaci mezi nosičem kódu (tagem) a čtečkou dochází pomocí rádiových vln. Výhodou oproti čárovým kódům je možnost umístění tagu na skryté místo (např. uvnitř vozu), kde není nutná jeho vizuální viditelnost. Nicméně i u této technologie může docházet k poruše rádiového spojení, proto se používá v praxi kombinace těchto dvou technologií a lze tak pomocí pevně připevněného TPS štítku karoserii zpětně identifikovat. Více o automatické identifikaci se lze dočíst v přílohách literatury [10].

IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO KAROSERIE (KNR)

Je identifikační číslo (Kennummer), které se používá ve výrobě k identifikaci vozů. Toto číslo je unikátní pouze v daném závodě a v průběhu jednoho roku⁶ (během více let se může opakovat). Je součástí TPS štítku a je zaznamenáváno systémem FIS. V praxi slouží k určení pořadí zakázky od vstupu do výroby.

Ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. má KNR 7 pozic obsahující informace o plánovaném týdnu, dni a pořadovém čísle, kdy má být zakázka vyrobena a vypadá následovně [3]:

TT-D-PPPP

TT	plánovaný výrobní týden
D	plánovaný výrobní den
PPPP	pořadové číslo výrobního dne

⁶ Je-li potřeba identifikovat zakázky z různých závodů nebo zakázky, které se nachází v systému déle než rok, poté se KNR rozšiřuje o výrobní číslo závodu a rok výroby vozu. [3]



INFORMAČNÍ SYSTÉMY

Hlavním řídicím systémem ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. je systém FIS (Fertigungs Informations und Steuerungssystem). Jedná se o výrobní a informační řídicí systém vyvinutý a standardizovaný koncernem Volkswagen. Tento systém je zaveden ve všech fázích výrobního procesu – od svařovny, přes lakovnu až po montáž vozu. Jedná se o modulárně⁷ navržený systém, který má za úkol řídit výrobu a informovat o technických parametrech zakázky v každé etapě výroby. Primárním zdrojem informací jsou data získaná z evidenčních bodů. [12]

Mezi hlavní funkce systému FIS patří [12]:

- Řízení zakázek.
- Vytvoření sekvence zakázek pro výrobu.
- Sběr událostí během výrobního procesu.
- Správa informací o stavu každé zakázky.
- Poskytování informací pro výrobní oblasti (svařovna, lakovna, montáž).
- Zajištění informací pro odběratele.
- Distribuce dat ostatním systémům.

V lakovně je ve ŠKODA AUTO a.s. navíc využíván řídicí systém KIS (Karossen Information System). Je nezávislý na ostatních systémech a využívá je jako zdroj informací. Pracuje s řídicím znakem, jímž je identifikační číslo karoserie (KNR).

2.1.3 INTERPRETACE ZÍSKANÝCH DAT

Získaná data z informačních systémů o průběhu zakázek je nutno zpracovat a analyzovat. Vzhledem k množství dat je jejich zpracování pomocí běžných kancelářských nástrojů, jako je například MS Excel nebo MS Access, velmi časově náročné a jak jsem se mohl přesvědčit z vlastní zkušenosti během praxe, je zde i velký prostor pro chybovost. Například data ze sledování měsíčního provozu poskytnou na desetitisíce položek, přitom některé z nich jsou duplicitní a naopak některá jsou neúplná, ať už chybou při načítání na evidenčních bodech či poškozením způsobeným přenosem po datové síti. Přitom právě korektnost vstupních dat je rozhodující pro správné výstupy ze simulačního modelu.

⁷ Modulární systém – systém složený z jednotlivých částí programu, které dle potřeby na sebe navazují, je přizpůsobitelný – rozšiřitelný. Pozn.: Modul – Skupina procesů se stejnou funkcionalitou. [3]



Kvůli eliminaci těchto vlivů byla vyvinuta speciální aplikace (APP), která byla použita v analytické a praktické části této práce k vyhodnocování a zpracování, ať už vstupních dat z výroby, nebo výstupních dat ze simulačního modelu. Právě aplikace APP je zde zmíněna a po ní následují informace věnující se Sankeyovu diagramu.

APP (ANALYZER OF PRODUCTION PROCESSES)

Česky: „Analyzátor výrobních procesů“. Jedná se o aplikaci ve výhradním vlastnictví ŠKODA AUTO a.s. a byla vytvořena za podpory grantu IGA Škoda Auto č.TP/07/01. Je určena k analýze dat z rozdílných datových zdrojů a umí importovat různě strukturovaná data v textovém a tabulkovém formátu (*.txt či *.csv). Aplikace využívá softwaru MS Access pro práci s daty a MS Excel pro jejich interpretaci.

Aplikace APP provádí mimo jiné i analýzy z evidenčních bodů (EB) a to jak analýzy z jednoho evidenčního bodu, tak analýzy ze dvou evidenčních bodů. Základní rozdělení analýz je patrné z Tab. 2-, důkladněji zpracované rozdělení spolu s možnými výstupy je zpracováno v příloze I. O dalších možnostech APP se lze dozvědět v manuálu k aplikaci, viz literatura [12].

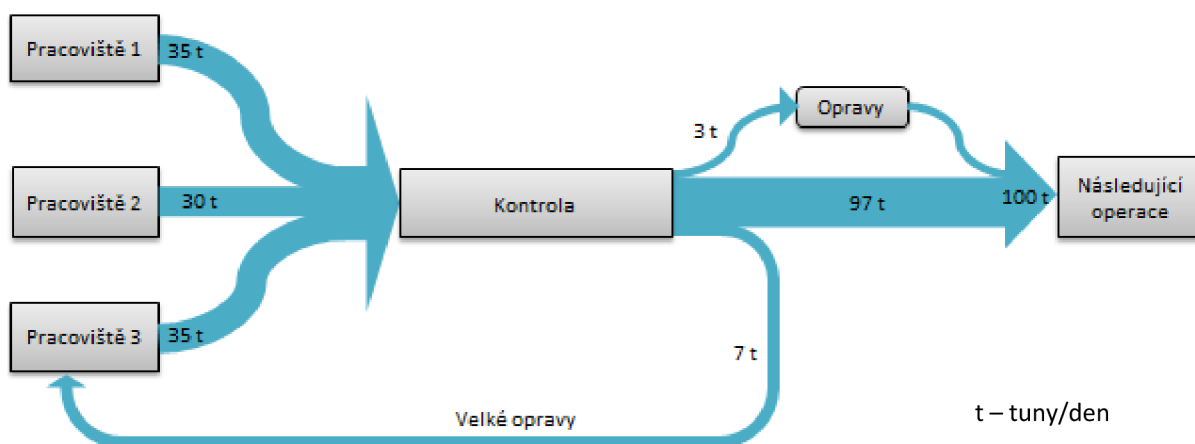
Tab. 2- Základní rozdělení analýz evidenčních bodů v APP (zpracováno dle [12])

Základní rozdělení analýz APP z evidenčních bodů	
<i>Analýzy z jednoho EB</i>	<i>Analýzy ze dvou EB</i>
01 - Dosažená četnost průchodu EB.	20 - Doba průchodu objektů mezi EB.
02 - Dosažená četnost EB určitého znaku.	21 - Průběh obsazenosti objektů mezi EB.
03 - Velikost bloku daného pole znaku.	22 - Dodržení sekvence objektů.
04 - Velikost bloku konkrétního znaku.	
05 - Analýza doby mezi průchody objektů EB.	
06 - Analýza doby mezi průchody objektů EB určitého znaku.	



SANKEYŮV DIAGRAM

Sankeyův diagram byl vyvinut před více než sto lety irským inženýrem Riallem Sankeyem za účelem analýzy tepelné účinnosti parních strojů. Od té doby je používán ke znázornění energetických a materiálových bilancí složitých systémů. Také se používá k zobrazení a mapování materiálových toků, u kterých vyjadřuje jejich intenzitu. Může se zakreslovat buď schematicky, nebo přímo do technické dokumentace (výkresu) výrobního úseku. Jeho největší výhodou je jeho názornost patrná z Obr. 2-, kde je na příkladu jedné operace inspirované konkrétním úsekem lakovny zobrazen materiálový tok v tunách za den. [13]



Obr. 2- Vyjádření materiálového toku pomocí Sankeyova diagramu (vlastní zpracování)

Obrázek výše představuje úsek lakovny M11/B v Mladé Boleslavi, konkrétně se jedná o výjezd karoserií z linek vrchního laku, kde pracoviště 1 až 3 jsou linky vrchního laku, kontrola představuje pracoviště dokončování, opravy znamenají „Spot Repair“ a následující operací je konzervace dutin. Na pracovišti Spot Repair se opravují vady laku do velikosti pěti (cca 10 cm), větší opravy znovu procházejí linkou vrchního laku.

Makovec [14] stanovuje pro záznam Sankeyova diagramu určitá pravidla:

- Záznam je kreslen v určitém měřítku.
- Šíře čar zakreslená mezi jednotlivými místy vyjadřuje hmotnost materiálových toků.
- Délka čar vyjadřuje vzdálenost mezi jednotlivými místy.
- Směr materiálových toků je označen v grafu šipkou.
- Barevně se odlišují jednotlivé druhy materiálů.
- Typem zvolené čáry se označuje plynulost či přerušovanost materiálového toku.



2.1.4 OPTIMALIZACE

Optimalizací se rozumí hledání nejlepšího řešení daného problému za aktuálních daných podmínek. Základem řešení je systémový přístup, kde jednotlivé části řešení nejsou posuzovány samostatně, nýbrž se hodnotí dopady na celý systém⁸. Základním nástrojem k optimalizaci je potom matematické modelování daného systému, jeho řešení a následná interpretace. Řešení spočívá ve hledání maxima či minima dané funkce. Pro složitější řešení matematických modelů se používají tzv. „řešiče“, což je v dnešní době především výpočetní technika využívající k tomu určený speciální software (např. Plant Simulation). V případě optimalizace na bázi simulace nemusí být vždy cílová funkce exaktně dána. [16]

Z hlediska firemního managementu lze optimalizaci definovat následovně: „*Optimalizace je technologie vedoucí k optimálnímu využití zdrojů (lidí, času, procesů, vozidel, zařízení, surovin, zásob, kapacit, atd.), potřebných k dosažení požadovaných výsledků, jimiž jsou například: minimalizace nákladů či doby zpracování, maximalizace propustnosti, úrovně služeb nebo zisku. Pomocí optimalizace lze zlepšit rychlost rozhodování a jeho kvalitu tím, že poskytuje podnikům citlivé, přesné a včasné řešení komplexních obchodních problémů.*“⁹

V této práci je řešen dvojitý druh optimalizace:

- Optimalizace materiálového toku danou oblastí.
- Optimalizace logiky řízení daného úseku v simulačním modelu.

Součástí obojího je následné pozorování chování daného systému (simulačního modelu) a vyhodnocení provedených změn. Za optimální variantu je potom považována ta, která nejvíce splňuje požadavky kladené na daný výrobní úsek. Těchto požadavků může být více, jedná se tedy o multikriteriální rozhodování.

Při optimalizaci materiálového toku je nutno brát v úvahu [3]:

- Charakteristiku výrobku – manipulovatelný materiál.
- Používanou technologii a techniku (technický postup).
- Čas a termíny realizace.
- Služby.
- Náklady.
- Požadavky a flexibilitu.

⁸ Definice viz kapitola 2.3.1 – Definice simulačních pojmů.

⁹ Volný překlad z literatury [3] str. 24, poznámka 1. (Pozn.: Původní internetový zdroj již neexistuje, ale tuto definici lze nalézt např. [15])



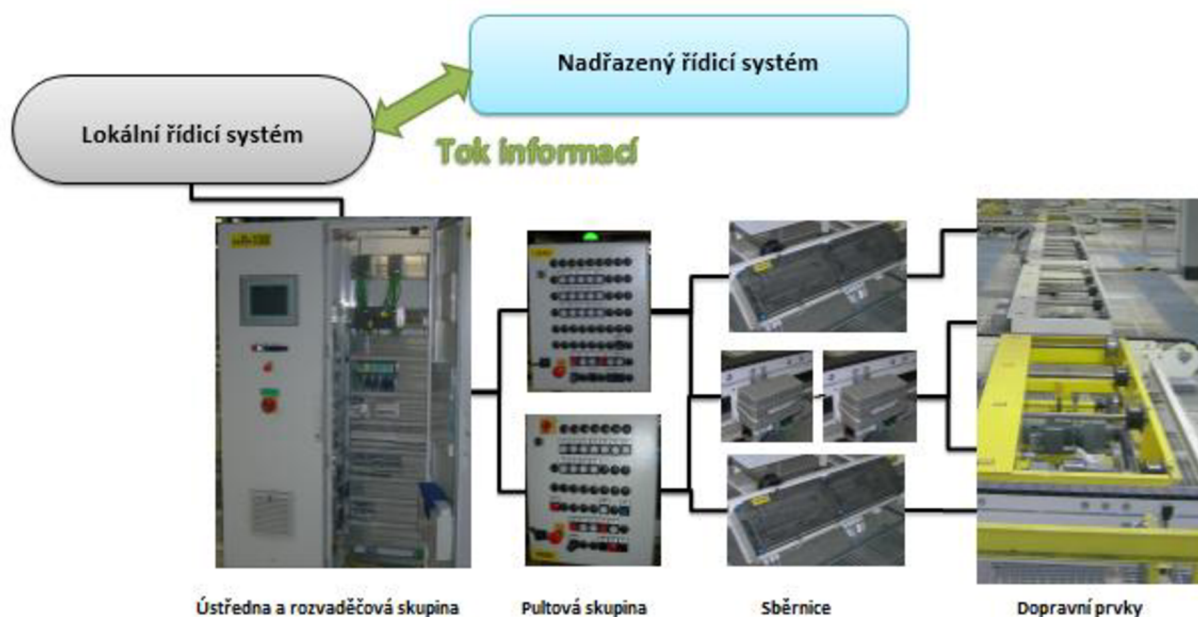
2.2 DOPRAVNÍKOVÁ TECHNIKA

S materiálovým tokem úzce souvisí i dopravníková technika, pomocí které se ve své podstatě materiálový tok uskutečňuje. Znalost této techniky je potřebná ke správnému posouzení chování jednotlivých výrobních úseků, ke stanovení technických omezení přepravy materiálu a v neposlední řadě k pochopení a následnému přenesení logiky jednotlivých dopravníkových úseků do simulačního modelu.

Dopravní či transportní zařízení je dle [17] definováno jako: „zařízení určené k vodorovnému a svislému přemísťování nákladu, který je na zařízení přiveden jiným mechanismem nebo ručně, při přemísťování se obvykle nemění jeho fyzikální vlastnosti a struktura. Podstatná část zařízení je v klidu, pohybuje se pouze jeho část – unášecí prostředek.“

Pomocí dopravních a manipulačních zařízení jsou prováděny následující logistické operace [3]:

- Mezioperační manipulace (přemístění mezi jednotlivými pracovišti, kontrola kvality).
- Skladové operace (uskladnění a vyskladnění).
- Přeprava mezi objekty (mezi výrobními halami).



Obr. 2- Struktura řízení dopravníkové techniky (obrázky převzaty z [18])

Řízení dopravníkové techniky je prováděno pomocí různých informačních systémů, které jsou buď lokální či nadřazené. Lokální systémy řídí komunikaci na úrovni dopravníkové techniky dle jejich současného stavu (úroveň senzorů), v lakovně například systém KIS. Nadřazené systémy se používají, je-li zapotřebí dalších informací, například o pořadí zakázek či typu

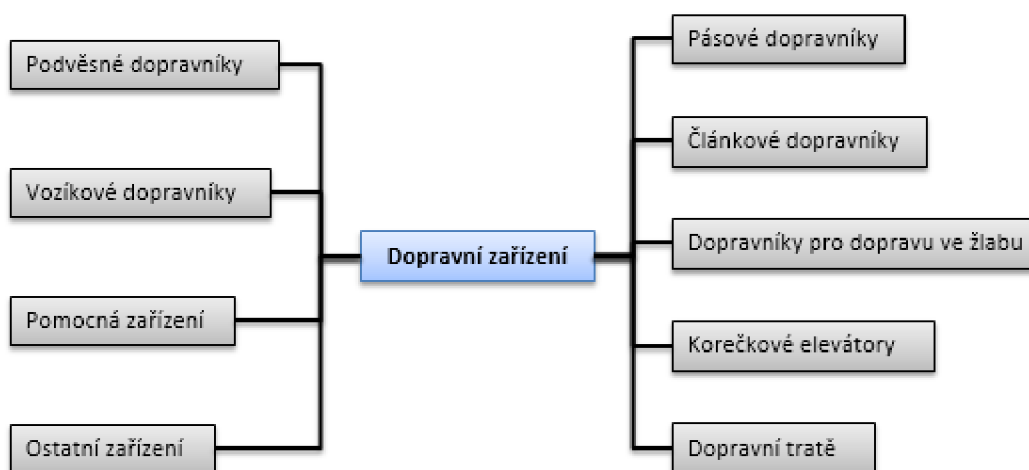


karoserie (systém FIS). Schematické uspořádání a členění dopravníkové techniky spolu s jeho řízením je patrné z Obr. 2-. [3]

V následujících podkapitolách je uvedeno základní rozdělení dopravníkové techniky vycházející z českých státních norem. Dále jsou na vybraném příkladu pásového dopravníku popsány základní technické části a vysvětleny některé funkční principy a výpočty. Následné podkapitoly jsou věnovány používané dopravní technice v automobilovém průmyslu a to konkrétně ve výrobním podniku Škoda Auto, kde lze dle druhu přepravovaného prostředku rozdělit používané dopravníky na skidové dopravníky a závěsové dopravníky.

2.2.1 OBECNÉ ROZDĚLENÍ

Rozdělení dopravníkové a manipulační techniky je možno nalézt vícero, například Hlavenka [6] rozděluje dopravní zařízení prvotně dle toho, jaký typ materiálu jsou konstruovány přepravovat: sypký (vibrační dopravníky, šnekové dopravníky, korečkové elevátory), sypký i kusový (skluzy, žlabové dopravníky, pásové dopravníky, článkové dopravníky, lanové dráhy) a kusový (válečkové a kladičkové tratě, závěsové dopravníky, dopravní vozíky, zdvihací a přemisťovací zařízení, manipulátory a roboty). Dále se lze setkat s rozdělením dle konstrukce, kde se dopravní zařízení dělí na dopravníky, jeřáby, průmyslové vozíky nebo s konstrukčně-funkčním rozdělením, kde se dopravníky dělí na dopravníky s tažným elementem a dopravníky bez tažného elementu. Na Obr. 2- je uvedeno rozdělení dle ČSN 26 0001.



Obr. 2- Rozdělení dopravníkové techniky dle ČSN 26 0001 [17]



2.2.2 SKIDOVÝ DOPRAVNÍK A JEHO ČÁSTI

Zde se práce věnuje popisu skidového dopravníku a jeho částí, protože má přímou souvislost s řešenou oblastí lakovny.

Dráha, po které se pohybuje skid, se nazývá poháněná dopravní trať, kde pohyb nákladu je odvozen od otáčení poháněných prvků nosného prostředku (dopravní trať je dopravník, jehož nosným prostředkem jsou otočné prvky uložené v rámu, po kterých se pohybuje dopravovaný náklad – kusová břemena od místa přívodu do místa odvodu nákladu. [17]

Přepravním prostředkem karoserie je skid, což je svařovaná tvarová konstrukce (viz Obr. 2-). Manipulační jednotka¹⁰ se skládá ze skidu a karoserie na něm umístěné. Uspořádání manipulační jednotky na dopravní trati je patrné z Obr. 2- vlevo.



Obr. 2- Skidy vytvořené pro koncern VW [19]

Skidový dopravník je složen z několika na sebe navazujících částí dopravní techniky, jejíž nejčastěji používané prvky jsou popsány v této části práce a jsou to [3]:

- Válečkové tratě.
- Zvedací zařízení.
- Stoly v dopravní technice.
- Příčné pásové dopravníky.

¹⁰ Manipulační jednotka – materiál, který tvoří samostatně nebo s přepravujícím prostředkem celek, který je uzpůsoben pro mechanizovanou manipulaci, přepravu, skladování a zachovává svůj tvar při oběhu. [17]



VÁLEČKOVÁ TRATĚ

Válečková trať je dopravní trať, kde nosným prostředkem jsou nosné válečky, vodící prostředek tvoří postranní vedení. [17]

Používá se pro přepravu v přímém (horizontálním) směru. Sestavováním více válečkových drah za sebe lze docílit požadované délky pro danou přepravu a modulárně tak měnit dopravovanou vzdálenost. Jedna válečková dráha, tedy jeden segment válečkové tratě má vlastní pohonnou a řídicí jednotku. Detail válečkové dráhy je vyobrazen na Obr. 2- vpravo. Dopravovaná rychlost je v závislosti na použitém pohonu buď 36 m/min (pohon bez frekvenčního měniče) nebo 6 až 72 m/min (pohon s frekvenčním měničem¹¹). [3]



Obr. 2- Válečková trať se skidem (vlevo) [19], detail válečkové dráhy (vpravo) [20]

Pohyb skidů po válečkové trati je závislý na zvoleném způsobu řízení a naprogramované logice a je zcela individuální. Lze například využít válečkové tratě, které délkově odpovídají velikosti skidu, a rozmístit je do vzájemně na sebe navazujících úseků. Pomocí senzorů, které snímají pohyb manipulační jednotky na trati, zajistit, aby skid neopustil stávající válečkovou dráhu, dokud dráha, která se nachází před ním, není volná. Takto upořádaná válečková trať může být umístěna před nebo za některými operacemi a tvořit tak najížděcí nebo vyjížděcí traťový zásobník, který pracuje v režimu FIFO¹².

¹¹ Frekvenční měnič je zařízení sloužící k regulaci otáček u asynchronních třífázových elektromotorů.

¹² FIFO – First In First Out – zásobník, který dodržuje pořadí vyskladňování stejně jako při uskladňování, tj. první uskladněný kus je i prvním vyskladněným kusem. [3]



ZVEDACÍ ZAŘÍZENÍ

Zvedací zařízení jsou určena k překonávání výškových rozdílů při manipulaci s karoseriemi, slouží tedy k přepravě ve svislém (vertikálním) směru. Nejčastěji se používají při [3]:

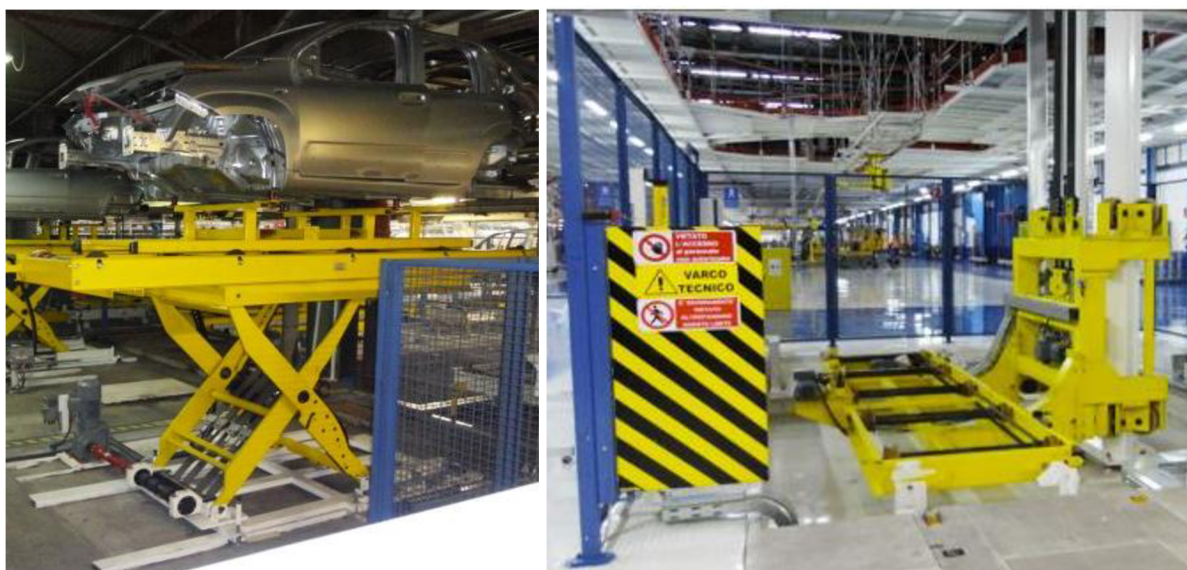
- Vstupu a výstupu do zásobníků.
- Vyrovnání výškových rozdílů mezi dopravníky.
- Přesunu karoserií mezi jednotlivými podlažími.

Dle konstrukce se zvedací zařízení rozdělují na:

- Sloupový zvedák
 - dvousloupový (max. zdvih 12 až 20 m),
 - čtyřsloupový.
- Nůžkový zvedák (zdvih 0,5 až 2 m).
- Excentrický zvedák (zdvih 100 až 250 mm), většinou se jedná o zvedací stoly.

Na Obr. 2- jsou zobrazeny příklady zvedacích zařízení používaných v automobilovém průmyslu.

Zvedací zařízení během jednoho pracovního cyklu může být osazeno pouze jednou karoserií, ostatní karoserie čekají, až se zvedák uvolní. Pracovní cyklus zvedáku je rozdělen celkem do 4 základní fází, mezi něž patří najetí na zvedák, výstup zvedáku, vyjetí karoserie ze zvedáku a sestup (pokles) zvedáku do výchozí pozice. Další najetí karoserie na zvedák je možné pouze až zvedák dostane signál od výstupní dopravníkové techniky, že karoserie zcela opustila prostor zvedáku.



Obr. 2- Zvedací zařízení (nalevo nůžkové a napravo dvousloupové zvedací zařízení) [21]



Zvedací zařízení se také používá u technologických uzlů, kde slouží k vzájemnému propojení více linek s různými dopravními prostředky (skid - EHB). Příklad takového použití zvedacích zařízení spolu s rozpisem základní logiky řízení je umístěn v příloze II.

Pracovní cyklus zvedáku je omezen rychlostí posuvů při jednotlivých pracovních operacích, jež jsou dána technologickými omezeními (např. výkon elektromotoru). Jednotlivé cykly se dají přiměřeně optimalizovat rozmístěním senzorů a nastavením rozjezdů z klidových poloh na pracovní rychlost (rozjezdy), stejně tak i bržděním z pracovní rychlosti do klidové polohy (dojezdy). Tyto informace jsou důležité při vlastním návrhu logiky řízení zvedáku a tvorbě simulačního modelu.

STOLY V DOPRAVNÍ TECHNICE

Součástí stolu je dopravníková dráha, která slouží jako vstupní a výstupní zařízení stolu. Základní typy rozdělované dle pohybu stolu jsou následující [3]:

- Kyvné stoly.

Zajišťují otočení o 10 až 90°. V závislosti na umístění středu otáčení vzhledem ke vstupní válečkové dráze se karoserie během přemístění otočí vůči směru toku či nikoliv. Dráha pohybu při pracovním cyklu kyvného stolu odpovídá kruhové úseči a připomíná svým pohybem kyvadlo, proto název „kyvné“ stoly. Karoserie po pootočení pokračuje na navazující válečkovou trať. Na Obr. 2- vlevo je ukázka kyvného stolu.

- Otočné stoly.

Slouží k otáčení karoserií o určitý úhel, ale na rozdíl od kyvných stolů mají střed otáčení umístěný uprostřed stolu, mohou se tedy otáčet až o 360° a to jak po směru hodinových ručiček, tak i proti směru hodinových ručiček. Otočné stoly lze uspořádat do variant s jedním nebo více vstupy a výstupy. Válečková trať tvořící vstup, může být zároveň i výstupem. Pomocí naprogramované logiky lze otočné stoly využít k řízení toku karoserií. Na Obr. 2- vpravo je zobrazen otočný stůl.

- Zvedací stoly.

Používají se k přizvednutí karoserie při nájezdu a výjezdu z přesuvného pásového dopravníku, kde celou manipulační jednotku buď nadzvednou z pásu, nebo ji na něj položí. Potřebný zdvih je poměrně malý, proto se konstrukčně řeší pomocí excentrického zvedacího mechanismu.



- Přesuvné stoly.

Někdy jsou také označovány jako příčné přesuvné dopravníky. Zajišťují příčné posunutí mezi jednotlivými válečkovými tratěmi. Umožňují rychlý příčný přesuv, proto se používají k propojení válečkové tratě s více vstupy a výstupy. Obdobně jako otočné stoly slouží k usměrnění materiálového toku, řízeném naprogramovanou logikou.



Obr. 2- Kynvý stůl (vlevo) [21], otočný stůl (vpravo) [20]

PŘÍČNÉ PÁSOVÉ DOPRAVNÍKY

Podobně jako přesuvné stoly, zajišťují příčné posunutí mezi jednotlivými válečkovými tratěmi, ale s tím rozdílem, že karoserie se skidem je unášena dvojicí pásů. Součástí tohoto dopravníku jsou i dva zvedací stoly, jeden na začátku k položení manipulační jednotky na pásy a druhý na konci k nadzvednutí z pásů. Konstrukčně jsou pásové dopravníky složitější a mají pomalejší příčný přesuv než příčné přesuvné dopravníky. [3]

Mezi jejich konstrukční výhody patří především to, že je-li zablokovaný výjezd, může příčný pásový dopravník pojmout dvě karoserie. Stává se z něj tedy potom dopravníkový zásobník s režimem FIFO.

Takovýto zásobník pak lze modulárně rozšířit i na libovolný počet pozic přidáním více příčných pásových dopravníků se zvedacími stoly vedle sebe. Toto uspořádání lze vhodně kombinovat a rozšiřovat a dosáhnout tak požadované kapacity zásobníku s rozšířenou logikou ovládní, kde již nemusí být nutně režim FIFO. Příkladem toho je zásobník „Barevných Bloků“ v lakovně, který se nachází před linkou vrchního laku a je stěžejním technologickým uzlem, jímž se zabývá tato práce.



Jeho uspořádání si lze prohlédnout na Obr. 2-, kde jsou vidět na sebe navazující příčné pásové dopravníky, každý se dvěma excentrickými zvedacími stoly. Na obrázku je dále vidět pohon pásů dopravníku přes kardanový hřídel od asynchronního motoru s převodovkou. Patrné je i rozmístění senzorů a uložení pohonu válečků, zajišťující pohyb karoserie se skidem mezi jednotlivými dopravníky. Logika řízení a princip funkčnosti tohoto zásobníku bude vysvětlen v analytické části práce, avšak již nyní lze postřehnout, že zásobník přerovnává karoserie dle barev.



Obr. 2- Příčné pásové dopravníky tvořící zásobník "Barevných Bloků" [22]

2.2.3 ZÁVĚSOVÝ DOPRAVNÍK (EHB)

Závěsový dopravník (EHB = Elektrohängebahn) je podvěsný dopravník, jehož unášecím prostředkem jsou závěsy, na kterých je uložen náklad. Manipulační jednotkou je v tomto případě závěs s karoserií [17]. Je používán tam, kde je potřeba provádět operace na spodku karoserie, například při zástavbě motoru na montáži. V lakovně je tento systém využíván u různých namáčecích operací, např. konzervace dutin, odmašťování atd. Každý závěs je vybaven vlastním pohonem a řídicí jednotkou. Provedení závěsové trati, po které se závěsový dopravník pohybuje, je individuální, tj. pro každou různou operaci se navrhuje optimální trať.

Speciálním případem je uzel, kde se karoserie přemísťují ze závěsového dopravníku na válečkovou trať a obráceně. Střídá se zde nejen dopravní trať, ale i unášecí prostředek (závěs - skid). Vhodně se k tomu využívají různá zvedací zařízení. Takovým uzlem je



například systém „trojzvedáků“ na montážní hale, kde se kompletuje Octavie 3. generace (viz příloha I).

Na Obr. 2- jsou znázorněné závěsové dopravníky používané v automobilové technice, vlevo je vidět závěsový dopravník použitý v lakovně při ponořování dveří od automobilu, na obrázku vpravo je umístěno použití závěsového dopravníku při montáži vozu. Lze si povšimnout různých typů závěsů a odlišné závěsové trati.



Obr. 2- Použití závěsových dopravníků, vlevo lakovna [20], vpravo montáž vozu [23]

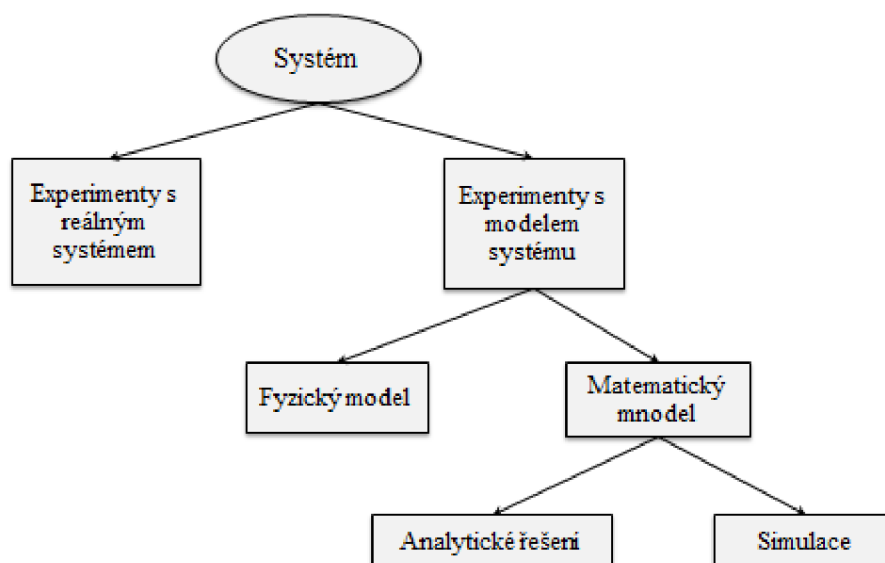


2.3 SIMULACE

Od doby, kdy Sir Isaac Newton v roce 1687 publikoval dílo Matematické základy přírodní filosofie a poprvé tak formuloval základní pohybové zákony (setrvačnosti, síly, akce a reakce), uplynulo již 327 let. V tomto díle byla také poprvé použita metoda analýzy systémů, jejichž základem je vytvoření abstraktního modelu reálného systému a principiálně šlo o první simulaci. Již v té době byly tedy položeny základy simulace, z nichž vychází i tato obecná definice [24]:

„Simulace je technika, která umožňuje vyhodnotit důsledek nějakého rozhodnutí bez jeho uskutečnění v reálném systému. Jde o libovolný způsob napodobení situace, systému změn nebo činností bez jejich realizace pomocí různých typů modelů. V podstatě se jedná o experimentování s matematickým modelem libovolné konstrukce.“

Jedna z v současnosti platných definic pro simulaci zabývající se logistikou je českým překladem z německé normy VDI 3633 [25]: *Simulace je zobrazování systému s jeho dynamickými procesy pomocí modelu, na kterém lze provádět experimenty za účelem získání poznatků, které je možné uplatnit ve skutečnosti*¹³. Další, poněkud rozšířenější definici lze nalézt například v literatuře [26], kde se Banks významově shoduje s předchozí definicí¹⁴.



Obr. 2- Přístupy studování systému (přeloženo z [27])

¹³ Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

¹⁴ A simulation is the imitation of the operation of a real-world process or system over time. Whether done by hand or on a computer, simulation involves the generation of an artificial history of a system and the observations of that artificial history to draw inferences concerning the operating characteristics of the real system.



Využití počítačové simulace je podmíněno složitostí systému. Počítačová simulace je vhodná pro komplexní systém, který se obtížně řeší jinými metodami (např. analyticky) nebo vůbec takto vyřešit nelze. Na Obr. 2- jsou schematicky uvedeny různé přístupy, jak lze daný systém studovat.

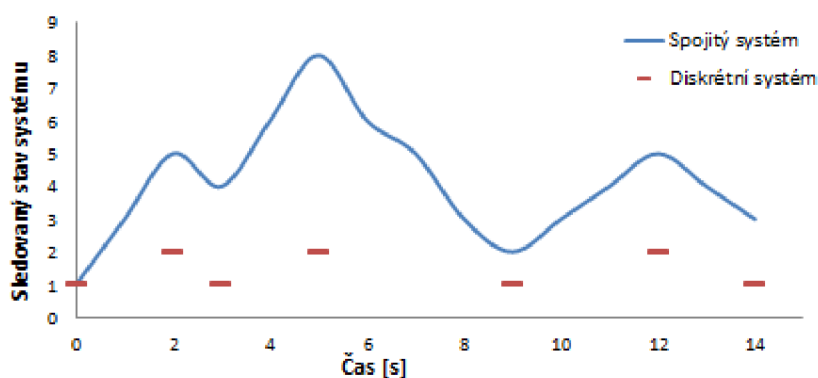
V simulaci se vyskytují některé pojmy, které jsou pro oblast simulace specifické, budou proto popsány v první podkapitole. Následuje podkapitola zabývající se smyslem a použitím simulace a to především počítačové simulace. Ve třetí podkapitole je popsána metodika řešení simulačního projektu ve všech fázích vývoje, podle které je zpracována analytická a praktická část práce.

2.3.1 DEFINICE SIMULAČNÍCH POJMŮ

Nyní budou uvedeny některé základní pojmy a jejich definice, které souvisejí s problematikou simulací. Zde uvedené informace jsou především ze zdroje [27], dále pak z [3], [26] a [28].

System – Soubor navzájem propojených prvků (lidí, strojů, atd.), které spolu a vůči sobě působí (existují mezi nimi funkční a jiné vazby) za účelem splnění nějakého logického cíle. Jedná se o základní simulovaný objekt sloužící jako zdroj dat. Systémy, stejně pak i simulace lze dělit na – viz Obr. 2-:

- *Diskrétní* systém je takový, který probíhá pouze v určitých časově od sebe oddělených intervalech, kdy dochází k nějaké změně v systému. Jako příklad může být uveden systém banky, kdy sledovaná událost je pouze příchod a odchod zákazníků a vyřízení požadavků u přepážek (nemá smysl sledovat systém, když se nic neděje). Diskrétní simulace pak sleduje systém pouze v takovýchto konkrétních okamžicích.
- *Kontinuální (spojitý)* systém respektuje časovou osu, mění se a je sledovaný během celého časového intervalu. Jako příklad lze uvést zakázku, pohybující se po systému dopravníkové techniky, jejíž pohyb je sledován po celou její cestu.



Obr. 2- Rozdíl mezi diskrétním a spojitým systémem (zpracováno dle [26])



Model – Předpokládá existenci reálného objektu (originál). Je to potom jiný objekt, který je do jisté míry podobný tak, že na něm lze studovat vlastnosti či chování reálného objektu. Často je specifikována přípustná tolerance určitých parametrů modelu vůči originálu. Model může být fyzický nebo matematický:

- *Fyzický* model je jiný reálný objekt, často ve zmenšeném měřítku. Nejčastěji se používá ve fázi vývoje k zobrazení prototypu nového objektu (např. v designu).
- *Matematický* model je soubor matematických a logických vztahů, které zobrazují systém s určitou přesností. Provádí se na něm experimenty a sleduje se jeho chování, od kterého se potom odvozuje chování zobrazovaného systému.

Dalším důležitým kritériem vycházejícím z toho, zda model obsahuje náhodné veličiny, je rozdělení na modely:

- *Deterministické* modely neobsahují náhodné vlivy (veličiny).
- *Stochastické* (pravděpodobnostní) popisují model i podle náhodných veličin, které jsou ale ve většině případů generovány deterministickým algoritmem. V praxi se lze nejčastěji setkat s charakterizací náhodných jevů pomocí pravděpodobnostních rozdělení spojitých (normální, exponenciální, weibullovo) a diskretních (alternativní, binomické, hypergeometrické). Více informací např. v literatuře [3].

Proměnná – v čase se měnící veličina působící na systém.

2.3.2 SMYSL A POUŽITÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE

Počítačová simulace nachází využití v mnoha odvětvích a to v celém životním cyklu výroby, od fáze plánování, přes realizaci až po samotný provoz. Umožňuje provádění experimentů, aniž by byl přímo ovlivněn simulovaný systém (nemusí se zastavovat linka) a to v bezrizikovém prostředí s možností vizualizace důsledků. Mezi některé výhody simulace patří díky jejímu širokému rozšíření [27]:

- Možnost zpracování a analýz velmi složitých stochastických systémů, které se dají nějakým způsobem popsat matematicky, ale nelze je vyřešit (nebo velmi obtížně) analyticky. (Např. simulace mozku – viz příloha 4 literatury [30] - Brain Modelling).
- Testovat stávající systém při změně provozních podmínek (změně modelového mixu) a určení jeho výkonnosti (odpovědi na otázky „Co se stane když ...“).
- Porovnat různé návrhy na změnu řízení, uspořádání nebo zlepšení systému.
- Umožňuje studovat chování systému za dlouhý časový úsek během několika minut (zrychleně) nebo naopak velmi krátkou událost sledovat během delší doby (zpomaleně).



Naopak mezi nevýhody simulace patří například závislost získaných dat na kvalitě vstupních dat a míře detailnosti simulačního modelu, obtížnost vytvoření dostatečně odpovídajícího modelu reálného systému, možnost časové i finanční náročnosti tvorby modelu. U složitých modelů je častý problém ověření správnosti výstupních dat z důvodu obtížně odhadnutelného předpokládaného výstupu.

Použití simulačního nástroje je nevhodné [26]:

- Pokud lze na dané řešení přijít běžným rozumem nebo se dá lehce analyticky spočítat.
- Je-li výhodnější vyrobit fyzický model nebo provést experiment na reálném systému.
- Pokud na simulaci není dostatek prostředků (čas, finance, lidské zdroje).

PŘÍKLADY POUŽITÍ DISKRÉTNÍ SIMULACE

Výše uvedené zásady a doporučení jsou doloženy i konkrétními zajímavými příklady uplatnění diskrétní simulace v praxi, které jsou zde uvedené v podobě simulačních studií čerpaných z literatury [29]:

Simulace a optimalizace linky výroby, kde se vyrábí komponenty do převodovek pro více různých firem zabývajících se výrobou čtyřkolek. Firma trpěla tzv. „Problémem konce měsíce“. Princip tohoto problému byl v podstatě takový, že továrna nestíhala plnit nárazové požadavky zadavatelů vzhledem k vytíženosti linek a plnila je ve spěchu ke konci měsíce.

Simulace plánování procesů zemních prací při stavbě komunikace, která zahrnovala zarovnání zeminy spolu s logistikou odvozu zeminy. Simulační model vycházel ze 3D modelu terénu, který se měl zarovnat a počítal jak optimální zarovnání terénu, tak efektivnost transportu zeminy (počet vozů a trasy, po kterých se pohybují).

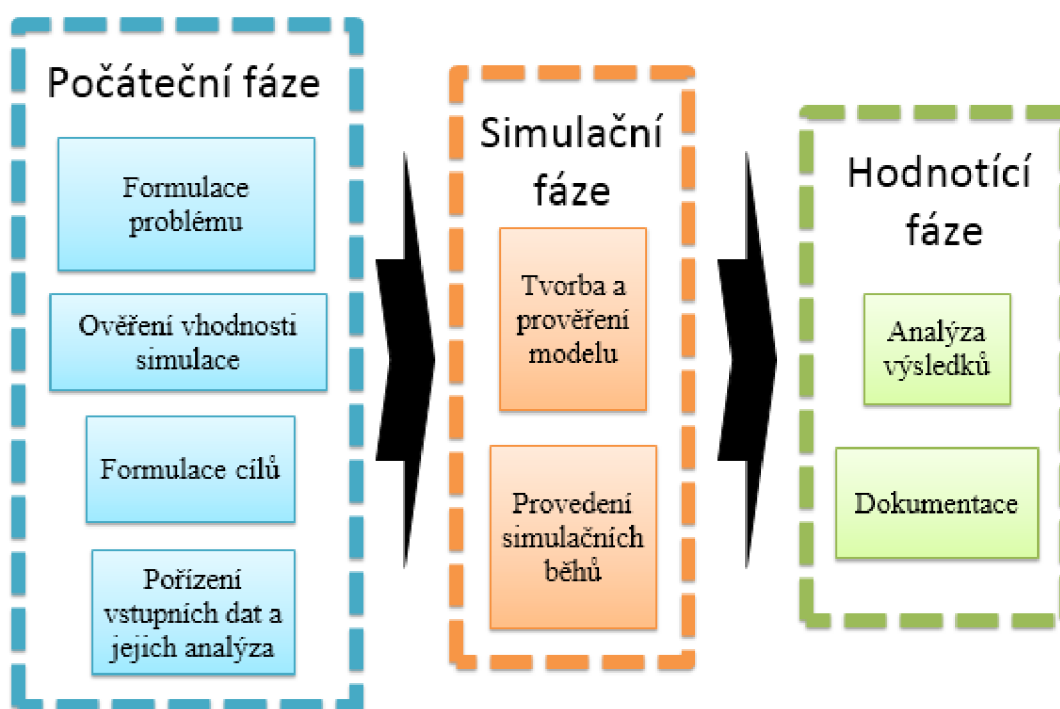
Modelování a simulace vysoce výkonných výpočetních systémů pro společnost IBM za pomoci speciálně vyvinutého simulačního software, který simuluje různé typy zapojení koncových výpočetních stanic do jedné velké výpočetní sítě a předpovídá jejich celkový výpočetní výkon a některé další parametry, jako např. rychlost odezvy.

Simulace a optimalizace logistického řetězce v chemickém průmyslu, kde se řešil v jedné části globální systém dodávek produktu mezi celkem 56 zeměmi a více než 700 lokacemi. Simulační model zahrnoval optimalizaci stávajících materiálových toků a zahrnutí nových pozic do takovéto distribuční sítě. V druhé části byla simulována vznikající chemická továrna v Asii se všemi procesy a pracovišti, zahrnující i návrh kapacit zásobníků materiálu.



2.3.3 METODIKA ŘEŠENÍ SIMULAČNÍHO PROJEKTU

Při tvorbě simulačního projektu je nutné postupovat systematicky po jednotlivých krocích, které jsou znázorněny na Obr. 2- a lze je rozdělit do tří základních fází (počáteční, simulační a hodnotící) a v této podkapitole jsou tyto kroky podrobněji rozepsány. Je však důležité si uvědomit, že jednotlivé kroky spolu navzájem souvisí a v mnoha částech se navzájem prolínají. Také je nutné se během tvorby simulačního projektu několikrát vracet (viz vývojový diagram v lit. [26] na str. 35) k předchozím krokům za účelem zpřesnění výchozích informací či opravení chyb, které v počátečních fázích projektu nebylo možno identifikovat. Celý proces je tak velmi komplexní a záleží na mnoha faktorech, jako jsou například zkušenosti odpovědného pracovníka, komunikaci v realizačním týmu a se zadavatelem, zajištění korektních dat atd. Informace v této kapitole jsou čerpány z děl [3], [24], [26], a [28].



Obr. 2- Schéma jednotlivých částí simulačního projektu (zpracováno dle [3])

POČÁTEČNÍ FÁZE

Formulace problému – Každý projekt by měl začínat formulací řešeného problému. Je důležité, aby zadavatel přesně vymezil své požadavky kladené na simulaci. Klíčové je vzájemné porozumění mezi zadavatelem a realizačním specialistou a k tomu je vhodné tyto požadavky zaznamenat písemnou formou. Nejčastější chyby v této fázi například jsou: nedostatečná komunikace, přístup rovnou k řešení problému, špatné pochycení problému.



Ověření vhodnosti použití simulace – Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3.2, použití simulačního nástroje může být v některých případech nevhodné. Provádí se tedy předběžný výpočet nákladů spojených se simulací daného projektu a odhad potřebné doby na její provedení. Je potom na zvážení zadavatele projektu, zda není výhodnější zvolit některou z jiných metod řešení (analyticky, experimentem na reálném objektu) a to s přihlédnutím např. k tomu, zda bude model v budoucnu opakovaně využit (může se provádět jeho rozšíření, či změna parametrů, případně je aplikovatelný na jiné problémy).

Formulace cílů – Ve většině případů existují dva druhy cílů: nadřazené (hlavní cíl firmy – zvětšení obrátu, maximalizace zisku atd.) a dílčí cíle. Právě dílčí cíle pomáhají uskutečnit hlavní cíl (i když mohou být protichůdné) a mohou to být například (cíle týkající se výrobní oblasti nějakého podniku):

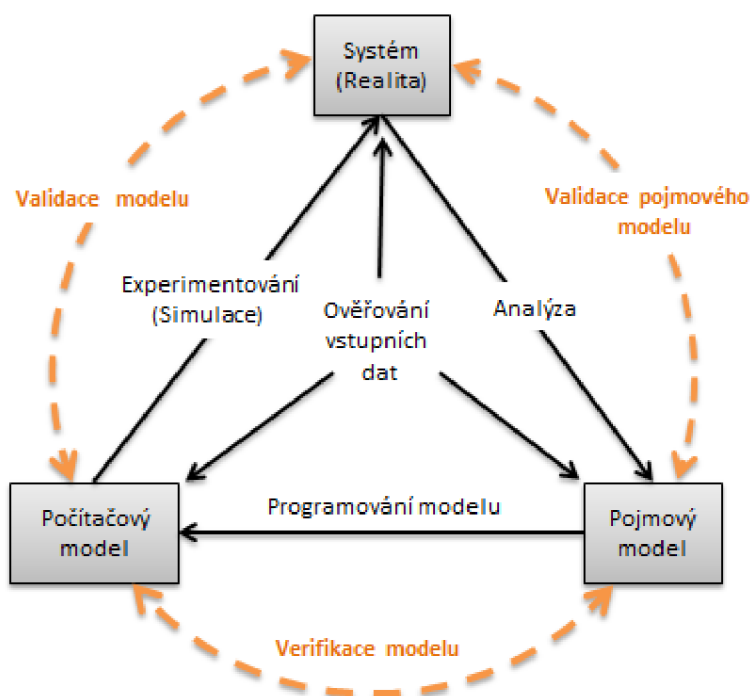
- Minimalizace času průběhu určitého procesu.
- Maximalizace vytíženosti systému.
- Minimalizace zásob ve skladech.
- Snížení doby plnění stanovených termínů.

Cíle by se měly dát objektivně kvantifikovat a měřit, aby bylo možné vyhodnocení dosažených simulačních výsledků (formou grafů, přehledů apod.). Pozor je třeba dát na stupeň detailnosti modelu, protože s rostoucí detailností roste sice přesnost výsledků, ale i náročnost na jeho zpracování. Jinými slovy, je třeba správně odhadnout postačující podrobnost modelu potřebnou ke splnění stanovených cílů a posoudit náklady na další zpřesnění výsledků.

Pořízení vstupních dat a jejich analýza – Obecně platí: *Jak kvalitní jsou vstupní data, taková pak jsou i výsledná data.* Znamená to, jak již bylo několikrát zmíněno, že zpracování vstupních dat, jejich věrohodnost a úplnost je klíčová k získání správných simulačních výsledků. Pro složité systémy je obsáhlý i počet vstupních dat. Často se ke zpracování dat využívá různých speciálních softwarů (APP – viz kapitola 2.1.3). Vstupními daty mohou být: výrobní výkresy a schémata, směnnost provozu, údaje o organizaci materiálového toku, pracovní plány, termíny zakázek a další.

SIMULAČNÍ FÁZE

Tvorba a prověření modelu – Až v této fázi simulačního projektu se přistupuje k samotné tvorbě simulačního modelu, který má při stanovené míře přesnosti co nejvěrněji interpretovat modelovaný systém. Na Obr. 2- je zobrazeno zjednodušené schéma procesu tvorby simulačního modelu, spolu s jeho základními prvky a aktivitami souvisejícími s ověřením modelu.



Obr. 2- Zjednodušené schéma tvorby simulačního modelu (zpracováno dle [31])

Tvorbu simulačního modelu lze rozdělit do dvou kroků:

- Sestavení *pojmového modelu* (konceptního, myšlenkového), který může být zpracován formou verbálního popisu (nejvíce obecné), schématického popisu, vývojového diagramu nebo matematického popisu (nejpřesnější). Pojmový model popisuje podstatné rysy chování systému, přitom musí být dostatečně srozumitelný. K jeho tvorbě lze využít různých podkladů, např. výkres výrobní oblasti, blokové schéma řízení dané oblasti, atd.
- Převod *pojmového modelu* do příslušného simulačního softwaru (implementace), které se skládá především z *programování* a tvorby struktury modelu pomocí dostupných základních prvků, které daný software obsahuje¹⁵. Při převodu *pojmového modelu* do simulačního softwaru dochází k zachycení statických, dynamických a pravděpodobnostních stránek systému.

Během tvorby simulačního modelu systému dochází k ověřování korektnosti nejen vstupních dat, ale i k ověřování samotného simulačního modelu, které se dle literatury [31] rozlišuje na:

- *Validaci pojmového modelu (kvalifikaci)*, která stanovuje, zda jsou teoretické předpoklady, na kterých je postaven *pojmový model*, správné a že reprezentace systému modelem je přiměřená vzhledem k požadovaným cílům.

¹⁵ Ve většině softwarů je ale možné si naprogramovat vlastní prvky s požadovanými vlastnostmi.



- *Verifikaci simulačního modelu*, která ověřuje, zda daný počítačový (simulační) model je správně implementován (naprogramován). Jinými slovy se jedná o ověření, zda je pojmový model přenesen s dostatečnou mírou přesnosti do simulačního softwaru.
- *Validaci simulačního modelu*, která porovnává chování výstupu z počítačového modelu s reálným systémem, přičemž shoda jejich chování musí být dostatečná ke splnění stanovených cílů.

Provedení simulačních běhů – Po vytvoření a ověření simulačního modelu lze přejít k provádění simulačních *experimentů*, které umožňují vyhodnotit chování modelu systému za změny počátečních (vstupních) parametrů, tj. sledovat vliv změny jednoho parametru (či více) na hodnotu sledovaného parametru. Je vytvořen zkušební plán se všemi plánovanými simulačními experimenty, který stanovuje:

- Počet simulačních experimentů.
- Počáteční podmínky.
- Dobu trvání simulace.
- Minimální počet i pořadí pokusů.
- Proměnné parametry.
- Intervaly měření sledovaných hodnot během simulace.

Ukončení simulačního běhu je prováděno zpravidla časem, tj. po uplynutí zadané doby. Obecně lze ale provádět simulační běhy ukončené jakoukoli událostí v systému (např. výskyt určitého stavu, splnění počtu průchodu jednotek, ...). Simulační experimenty mohou být i velmi časově náročné, je proto dobré stanovit časový plán před samotným prováděním simulačních běhů u složitých systémů mimo pracovní dobu, protože ve většině případů není potřeba přítomnosti simulačního experta a zamezí se tak zaneprázdnění výpočetní techniky během pracovní doby.

HODNOTÍCÍ FÁZE

Analýza výsledků a jejich interpretace – V této fázi simulačního projektu by měly být splněny dříve formulované cíle. Získaná data ze simulačních experimentů jsou následně analyzována a z výsledků analýz jsou vyvozeny důsledky, které mají dopad na projektovaný (reálný) systém.

Nejprve se ale provede ověření přijatelnosti výsledků, zda se jedná o smysluplné výsledky. Pokud tomu tak není, je nutné diskutovat příčiny a opakovat předchozí kroky (z počáteční a simulační fáze), dokud nejsou výsledky přijatelné. Dále se získané výsledky roztřídí a zpracují do nezaměnitelných datových souborů. Poté se provedou grafické úpravy a analýzy (animace, diagramy, tabulky, grafy) získaných výsledků, přičemž se využívá i metod popisné



statistiky (střední hodnoty, rozptyl, medián, modus, ...). Následně dochází k interpretaci získaných výsledků simulačním expertem na reálný systém a dochází k fyzické aplikaci plánovaného cíle. Tato část je velmi důležitá, neboť jsou-li výsledky špatně interpretovány, celá simulační studie je bezcenná. Zároveň se zde projevuje tzv. „doba náběhu“, při které nemusí chování nového systému odpovídat výsledkům ze simulačního modelu a až během nějakého času dojde k ustálení sledovaných hodnot. Poslední a finální činností je provedení analýzy přínosů a nákladů simulačního projektu (ověření, zda se projekt vyplatil).

Je důležité si uvědomit, že pokud se v modelu vyskytují náhodné veličiny (prostoje, poruchy), pak i výsledky jsou funkcí náhodných veličin. Náhodné veličiny v simulačních modelech jsou generovány rekurentním aritmetickým algoritmem. Znamená to, že následující náhodné číslo je funkcí několika předchozích čísel. Taková čísla se označují jako pseudonáhodná a za stejných počátečních podmínek bude generována vždy stejná řada náhodných čísel. V simulačních softwarech lze tyto počáteční podmínky měnit a dostávat tak řady na sobě nezávislých pseudonáhodných čísel. [32]

Dokumentace – Výsledná dokumentace by měla obsahovat informace týkající se všech fází simulačního projektu, od zadání až po výsledné opatření provedené na základě poskytnutých simulačních podkladů. Dokumentace by měla být natolik kompletní, aby zajistila možnost využití simulačního modelu i do budoucna a to pro nezasvěceného uživatele. Konkrétně by měla dokumentace obsahovat alespoň specifikace a cíle, pro které byl model vytvořen, verbální a analytický popis modelu, vymezení aplikovatelnosti modelu, popis provedených simulačních testů a jejich záznam a v neposlední řadě také vyjádření osob zodpovědných za simulační projekt. Obvykle je součástí i vlastní prezentace výsledků spolu se srovnáním výchozího a současného stavu.



3 ANALÝZA VÝROBNÍ OBLASTI

3.1 POPIS VÝROBNÍ OBLASTI



3.1.1 LAKOVNA M11A



3.1.2 LAKOVNA M11B



3.2 ZÁSOBNÍK NA TVORBU BAREVNÝCH BLOKŮ



3.2.1 BAREVNÝ BLOK (BB)





3.3 TVORBA POJMOVÉHO MODELU

3.3.1 ANALÝZA DAT





3.3.2 DISPOZIČNÍ ROZMÍSTĚNÍ ZÁSOBNÍKU



3.3.3 LOGIKA ŘÍZENÍ







4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 SOUČASNÝ STAV

4.1.1 POPIS TVORBY SIMULAČNÍHO MODELU











4.1.2 VERIFIKACE MODELU



4.1.3 VALIDACE MODELU











4.2 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

4.2.1 ZMĚNY TÝKAJÍCÍ SE DOPRAVNÍKOVÉ TECHNIKY





4.2.2 ÚPRAVA SIMULAČNÍHO MODELU A TVORBA UŽIVATELSKÉHO ROZHRAŇÍ







4.2.3 LOGIKA ŘÍZENÍ



4.2.4 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ





4.3 SROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO A NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ







5 SHRnutí VÝSLEDKŮ



ZÁVĚR

V úvodní části této práce je po vymezení cíle popsáno ucelené shrnutí aktuálních poznatků souvisejících s analýzou materiálového toku, dopravníkovou technikou používanou v automobilovém průmyslu a oblastí využití diskrétní simulace za pomoci moderní výpočetní techniky. Všechny tyto poznatky jsou následně upotřebeny v kapitole zabývající se analýzou výrobní oblasti v podniku ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Analyzovaný úsek se nachází v oblasti lakovny a jedná se o dopravníkovou techniku tvořící zásobník karoserií, který je ovládaný pokročilou logikou řízení. Právě analýzou této logiky a jejím následným přenesením do simulačního modelu se zabývá poslední část práce. V této části je dále rozveden návrh nového řešení, který spočívá ve změně dopravníkové techniky a s tím souvisejícími změnami logiky řízení.

Cílem tohoto díla bylo posouzení navrhované varianty zlepšující parametry úseku dopravníkové techniky ve výrobním závodě. Tento cíl byl splněn. Navrhované řešení má lepší parametry (hodnotu barevného bloku), než stávající stav, což přináší potenciál pro větší průchodnost danou oblastí výroby. Bližší srovnání navrhovaného řešení a současného stavu je uvedeno v poslední části práce. Jedním z hlavních kroků, který vedl k dosažení tohoto cíle, bylo řešení simulačního projektu, jež zahrnoval tvorbu pojmového modelu výrobní oblasti, analýzu a návrh logiky řízení dopravníkové techniky, tvorbu simulačního modelu a provedení simulačních experimentů. Simulační model byl verifikován a validován na základě shody důležitých charakteristik, získaných analýzou dat z reálné výroby. K praktickým přínosům této práce patří zejména analyzování chování konkrétní oblasti výroby, z toho vyvození nového řešení, které bylo také analyzováno a porovnáno s původním stavem bez ovlivnění samotného výrobního provozu.

Využití této práce v budoucnu by mohlo spočívat především v zapracování simulačního modelu daného úseku do celkového simulačního modelu oblasti lakovny. Logika řízení navrhovaného řešení by jistě mohla být dále vylepšena, či by mohl být zapracován plánovaný princip zvaný „*Perlenkette*“ (perlový náhrdelník). Cílem tohoto principu je udržení zakázek ve stejném pořadí, v jakém byly přijaty, během celé výroby vozu. Pro logiku řízení zásobníku BB by to znamenalo další kritérium seřazování vozů - a to dle čísla zakázky. Jednalo by se tedy o protichůdné požadavky – co největší barevný blok nebo co nejplynulejší pořadí.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

LITERATURA

- [1] NANCE, Richard E. *A History of Discrete Event Simulation Programming Languages*. Blackburg, Virginia 24061, 1993 [cit. 2013-12-20]. Department of Computer Science, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [2] KOVÁŘ, M. *Optimalizace vnitřního materiálového toku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 91 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc.
- [3] ŠTOČEK, J.: *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*, Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně, FSI VUT v Brně 2004, ISBN.: 80-14-2885-6 [doktorská práce].
- [4] JANÍČEK, Přemysl. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky: hledání souvislostí : učební texty*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 978-80-7204-555-61.
- [5] SCHULTE, Christof. *Logistika*. 1. vyd. Překlad Adolf Baudyš, Gustav Tomek. Praha: Victoria Publishing, 1994, 301 s. ISBN 80-856-0587-2.
- [6] HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem*. Vyd. 4., V Akademickém nakl. CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s. ISBN 978-80-214-3607-7.
- [7] *Logistika - analýza procesu: Návod k hodnocení a zlepšování logistiky : verze 2, 1. vyd. 2000*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2002, 74 s. VDA: Management jakosti v automobilovém průmyslu, 17. ISBN 80-020-1478-2.
- [8] PERNICA, Petr. *Logistický management. Teorie a podniková praxe*. 1. vyd. Praha: RADIX, 1998, 660 s. ISBN 80-860-3113-6.
- [9] ČUJAN, Zdeněk. *Logistika výrobních technologií*. první vydání. Přerov: Vysoká škola logistiky o.p.s. v Přerově, 2013. 293 s. ISBN 987-80-87179-31-4.
- [10] JIRSÁK, Petr, Michal MERVART a Marek VINŠ. *Logistika pro ekonomy - vstupní logistika*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2012, 263 s. ISBN 978-80-7357-958-6.
- [11] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století 2. díl: (supply chain management)*. Vyd. 1. Praha: Radix, 2005, 569 s. ISBN 80-860-3159-4.
- [12] KARPETA, V., ŠTOČEK, J. *Uživatelský manuál: Analyzer of production processes*, 2012, 69.



- [13] SCHMIDT, Mario. The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management. *Journal of Industrial Ecology*. 2008, vol. 12, issue 1, s. 82-94. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x>
- [14] MAKOVEC, Jaromír. *Organizace a plánování výroby*. dotisk 1.vyd. Praha: VŠE, 1996, 274 s. ISBN 80-707-9171-3.
- [15] Asset Analytix: Reliability Maintenance Optimization. In: *Asset Analytix: Resource Management* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.assetanalytix.com/resource-management>
- [16] RAIS, Karel. *Základy optimalizace a rozhodování*. Vyd. 3. Brno: PC-DIR, 1998, 105 s. Studijní text pro studium BA Hons. ISBN 80-214-1212-7.
- [17] ČSN 26 0001. *Dopravní zařízení - Názvoslovní a rozdělení*. Praha: Český normalizační institut, 12.4.1989, 249 s.
- [18] SPS SERVIS A PROGRAMOVÁNÍ STROJŮ, s.r.o. *SPS: Rekonstrukce zaplavovací techniky ve Škoda Auto a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-02-12]. Dostupné z: <http://www.sps-bakov.cz/>
- [19] FIRMCONSULT SPOL. S R.O. *Firmconsult: Skid pro montáž skeletu ve Volkswagen Mosel* [online]. 2014 [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.firmconsult.cz/>
- [20] EISENMANN AG. *Eisenmann: Automotive Systems & Aerospace* [online]. 2014 [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.eisenmann.com/en/products-and-services/automotive-systems-and-aerospace.html>
- [21] INDUSTRY AMS SRL. *AMS Industry: Automation and Handlings* [online]. 2014 [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.amssrl.com/en>
- [22] ŠKODA AUTO A.S. *Interní materiály*. Mladá Boleslav, 2014.
- [23] ENTECOM SYSTEMS NV. *Entecom Systems: Slat & Skid Conveyors* [online]. 2014 [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.entecomsystems.eu/slat-skid-conveyors>
- [24] HOUŠKA, Milan. *Simulační modely I*. Vyd. 1. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2005, 57 s. ISBN 978-80-213-1334-7.
- [25] Entwurf der VDI-Richtlinie 3633. *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen*, VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluß Logistik (1996).
- [26] BANKS, Jerry. *Discrete-event system simulation*. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, 2009. ISBN 978-013-8150-372.
- [27] LAW, Averill M. *Simulation modelling and analysis*. 4. ed., internat. ed. Boston [u.a.]: McGraw-Hill, 2007. ISBN 00-712-5519-2.



- [28] HLOSKA, J. *Transformace simulačního odelu ze SW SimPro do SW Plant Simulation* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010 [cit. 2013-12-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=29134. Diplomová práce. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Škopán CSc.
- [29] BANGSOW, Steffen. *Use cases of discrete event simulation: appliance and research*. 1st ed. New York: Springer, 2012, p. cm. ISBN 978-364-2287-763.
- [30] ZEIGLER, Bernard P. *Theory of modelling and simulation*. New York: Wiley, c1976, xxii, 435 p. ISBN 04-719-8152-4.
- [31] SARGENT, Robert G. Verification and validation of simulation models. *WSC'07 Winter Simulation Conference: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference : JW Marriott Hotel, Washington D.C., December 9-12, 2007*. S.l.: Omnipress, 2007, s. 124-137.
- [32] HUŠEK, Roman a Josef LAUBNER. *Simulační modely: celostátní vysokoškolská příručka pro studenty vysokých škol skupiny oborů 62 Ekonomické vědy*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 349 s.
- [33] PROKOP, A. *Aplikace diskrétní simulace v oblasti podpory projektování dopravníkové techniky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 70 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [34] BANGSOW, Steffen. *Manufacturing simulation with Plant Simulation and Simtalk: usage and programming with examples and solutions*. Berlin: Springer, c2010, xvii, 297 p. ISBN 36-420-5074-3.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BB		Barevný Blok – skupina za sebou jedoucích karoserií stejného odstínu barvy.
EB		Evidenční Bod – kontrolní místo zaznamenávající průchod zakázky.
EB 01		Evidenční bod na vstupu do plniče – manuální.
EB 02		Evidenční bod na vstupu do plniče – automatický.
EB 05		Evidenční bod na výstupu ze zásobníku BB – manuální.
EB 08		Evidenční bod na výstupu ze zásobníku BB – automatický.
EB 13		Evidenční bod na vstupu do zásobníku BB – automatický.
EHB		Elektrohängebahn - závěsový dopravník.
DL3		Linka vrchního laku (Deck Lack 3) v lakovně M11B v Mladé Boleslavi.
FIFO		First In First Out - označení zásobníku, který dodržuje pořadí vyskladňování stejné jako u uskladňování, tj. první uskladněný kus je i první vyskladněný.
FIS		Fertigungs Informations und Steuerungssystem – řídicí systém ve Škoda Auto.
ID		Identifikační číslo karoserie – označení KNR v simulačním modelu.
KIS		Karossen Information System – lokální řídicí systém v lakovně.
KNR		Kennummer – sedmimístné identifikační číslo karoserie.
MS		Microsoft – americká počítačová firma zabývající se vývojem softwaru.
MU		Movable Unit – objekt, který reprezentuje karoserie v simulačním modelu.
M11A		Označení lakovny základního laku ve Škoda Auto v Mladé Boleslavi.
M11B		Označení lakovny vrchního laku ve Škoda Auto v Mladé Boleslavi.
PS		Plant Simulation.
RFID		Radio Frequency Identification – přenos pomocí rádiových vln.
TPS		TagesProduktionSchild – štítek označující typ karoserie na které je připevněn.
VW		Volkswagen.
f ₁ , f ₂	[-]	Funkce chování simulačních modelů.
f	[-]	Funkce popisující vstupní data simulačního modelu.
I	[t/h]	Intenzita materiálového toku.
n	[ks]	Počet jednotlivých výrobků.
N	[-]	Počet jednotlivých barevných bloků.
p	[-]	Počet seřízení linky vrchního laku za měsíc provozu.
P	[*]	Jednotka kvantitativního hodnocení manipulovaného materiálu (* ks, kg, m ³).
t	[h]	Čas.



T	[s]	Celkový čas seřizování linky vrchního laku za měsíc provozu.
x	[-]	Počet karoserií v jednotlivém barevném bloku.
y	[-]	Vstupní data simulačního modelu, popsaná funkcí $f(x)$.
\varnothing BB	[kar.]	Průměrný barevný blok.
μ	[-]	Stanovená míra přesnosti.
τ	[s]	Doba trvání úkonu seřízení linky vrchního laku.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1-1 Ukázka programovacího jazyku GSP [1].....	10
Obr. 2-1 Zjednodušený logistický řetězec (zpracováno dle [7])	14
Obr. 2-2 Umístění TPS štítku na karoserii Octavie 3. Generace (zpracováno dle [3])	16
Obr. 2-3 Popis TPS štítku (zpracováno dle [3])	17
Obr. 2-4 Vyjádření materiálového toku pomocí Sankeyova diagramu (vlastní zpracování) ...	20
Obr. 2-5 Struktura řízení dopravníkové techniky (obrázky převzaty z [18])	22
Obr. 2-6 Rozdělení dopravníkové techniky dle ČSN 26 0001 [17]	23
Obr. 2-7 Skidy vytvořené pro koncern VW [19].....	24
Obr. 2-8 Válečková trať se skidem (vlevo) [19], detail válečkové dráhy (vpravo) [20].....	25
Obr. 2-9 Zvedací zařízení (nalevo nůžkové a napravo dvousloupové zvedací zařízení) [21]..	26
Obr. 2-10 Kyvný stůl (vlevo) [21], otočný stůl (vpravo) [20].....	28
Obr. 2-11 Příčné pásové dopravníky tvořící zásobník "Barevných Bloků" [22]	29
Obr. 2-12 Použití závěsových dopravníků, vlevo lakovna [20], vpravo montáž vozu [23].....	30
Obr. 2-13 Přístupy studování systému (přeloženo z [27]).....	31
Obr. 2-14 Rozdíl mezi diskretním a spojitým systémem (zpracováno dle [26]).....	32
Obr. 2-15 Schéma jednotlivých částí simulačního projektu (zpracováno dle [3])	35
Obr. 2-16 Zjednodušené schéma tvorby simulačního modelu (zpracováno dle [31]).....	37
Obr. 3-1 Postup výroby vozu (obrázky převzaty z [22]).....	40
Obr. 3-2 Umístění zásobníku Barevných Bloků (vlastní zpracování).....	43
Obr. 3-3 Barevný Blok (vlastní zpracování)	44
Obr. 3-4 Počítání barevného bloku (vlastní zpracování).....	45
Obr. 3-5 Model zásobníku BB v simulačním prostředí SimPro [22]	46
Obr. 3-6 Schéma jednotlivých pozic zásobníku BB (vlastní zpracování).....	48
Obr. 4-1 Použité prvky k tvorbě simulačního modelu (vlastní zpracování).....	53
Obr. 4-2 Základní princip chování modelu (vlastní zpracování).....	54
Obr. 4-3 Popis simulačního modelu současného stavu (vlastní zpracování)	55
Obr. 4-4 Funkční popis shody hodnot důležitých charakteristik (vlastní zpracování).....	57
Obr. 4-5 Verifikace - srovnání dle absolutních četností (vlastní zpracování).....	58
Obr. 4-6 Graf počtu seřizování u jednotlivých experimentů (vlastní zpracování)	62
Obr. 4-7 Poziční schéma navrhovaného řešení (vlastní zpracování).....	63
Obr. 4-8 Simulační model navrhovaného řešení (vlastní zpracování)	65
Obr. 4-9 Uživatelské rozhraní (vlastní zpracování).....	67
Obr. 4-10 Graf zobrazující srovnání dle průměrné velikosti BB (vlastní zpracování).....	71
Obr. 4-11 Graf srovnání dle absolutních četností BB (vlastní zpracování).....	72
Obr. 4-12 Graf zobrazující počet seřizení za měsíc provozu (vlastní zpracování).....	73



SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Základní rozdělení analýz evidenčních bodů v APP (zpracováno dle [12]).....	19
Tab. 3-1 Výsledek analýzy vstupních dat (vlastní zpracování).....	47
Tab. 4-1 Proměnné v simulačním modelu současného stavu (vlastní zpracování).....	56
Tab. 4-2 Simulační experimenty časového omezení (vlastní zpracování)	61
Tab. 4-3 Rozdělení karoserií na vstupní přesuvce dle odstínu barev (vlastní zpracování)	64
Tab. 4-4 Přidané proměnné a jejich význam (vlastní zpracování)	66
Tab. 4-5 Srovnání celkového času seřizování (vlastní zpracování)	73



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I – Tabulka rozdělení analýz APP.

Příloha II – Popis pracovního cyklu zvedacího zařízení (2 strany).

Příloha III – Schéma lakovny.

Příloha IV – Schéma jednotlivých pozic v zásobníku BB.

Příloha V – Zjednodušené schéma logiky řízení.

Příloha VI – Logika řízení současného stavu zásobníku BB (vložená strana formátu A3).

Příloha VII – Ukázka programovacího jazyka SimTalk.

Příloha VIII – Tabulky použité v simulačním modelu (2 strany).

Příloha IX – Verifikace modelu.

Příloha X – Dynamický mód, analýzy výstupu.

Příloha XI – Validace modelu.

Příloha XII – Vytíženost pracoviště příprav.

Příloha XIII – Poziční schéma navrhovaného řešení.

Příloha XIV – Zjednodušená logika řízení navrhovaného řešení (vložená strana formátu A3).

Příloha XV – Vývojový diagram logiky při rozhodování o změně vstupní větve. (2 strany).

Příloha XVI – Simulační experimenty navrhovaného řešení (4 strany).