

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Simulace procesů v elektrotechnické výrobě**

**vedoucí práce: Doc .Ing .Jiří Tupa .PhD**

**2012**

**autor: Bc .Petr Nečas**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr NEČAS**  
Osobní číslo: **E10N0039P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Simulace procesů v elektrotechnické výrobě**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte přehled současného stavu v oblasti simulací procesů ve vazbě na řízení výroby v elektrotechnice.
2. Uveďte vhodné simulační nástroje a jejich popis pro oblast výroby.
3. Vypracujte případovou studii možnosti simulace výroby konkrétního výrobku.
4. Proveďte zhodnocení výsledků pro praxi.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Tupa, Ph.D.**

Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Obsah diplomové práce je zaměřen na návrh a simulaci výrobní linky v podniku BOS Automotive. Nejdříve se zabývá vysvětlením metodik štíhlé výroby, které jsou aplikovány ve výše zmíněné společnosti. Poté se věnuje popisu a zhodnocení stavu simulačních nástrojů v kontextu s nástroji procesními. Pro vybraný návrh výrobní linky MQBX37 je v závěru vytvořen simulační model, který ověřuje splnění požadovaných vlastností návrhu.

## **Klíčová slova**

Štíhlá výroba, Diskrétní simulace, Plant Simulation, Pro Engineer, Návrh výrobní linky, Balancování operací, Simulační model

## **Abstract**

This thesis is focused on designing and simulation of an assembly line in BOS Automotive company. First part describes methods of lean manufacturing. These methods are applied in this very company. The next part deals with the description of tools for simulation used in the context of the tools for process management. There was created a simulation model of the assembly line MQBX37 and this model was checked whether it could satisfy all specified requirements.

## **Key words**

Lean Manufacturing, Discrete simulation, Plant Simulation, Pro Engineer, Design of production line balancing operations simulation model.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 8.5.2012

Petr Nečas

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Tupovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Ing. Jaroslavu Matejíčkovi nejen za možnost aplikovat teoretické znalosti v reálném projektu, ale také za skvělý přístup, vzájemnou spolupráci, množství cenných rad a postřehů s přátelskou podporou. Neméně rád bych poděkoval i panu Ing. Ondrovi Kurkinovi a Doc. Ing. Zdeňkovi Ulrychovi, Ph.D, kteří dokázali rychle reagovat na mé dotazy a společně najít řešení. V závěru poděkování bych rád zmínil i moje rodiče Růženu Nečasovou a Antonína Nečase, kteří mi vždy byli oporou a jejich obětavost, pokora a vstřícnost byli a jsou pro mě inspirací.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>SEZNAM POJMŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ŠTÍHLÉ VÝROBY</b> .....	<b>10</b>
2.1 TVORBA ŠTÍHLÉ VÝROBY .....	10
2.2 ZÁKAZNICKÝ TAKT.....	11
2.2.1 Výpočet zákaznického taktu .....	11
2.3 PLÝTVÁNÍ.....	11
2.3.1 Zdroje plýtvání.....	11
2.4 KANBAN .....	12
2.4.1 Dělení.....	13
2.4.2 Předpoklady pro zavedení.....	13
2.4.3 Pravidla .....	14
2.4.4 Přínosy.....	14
2.5 METODA 5S .....	14
2.5.1 Postup implementace metody 5S.....	15
2.5.2 Přínosy metody 5S.....	16
2.6 HEIJUNKA .....	16
2.7 ANDON.....	17
2.7.1 Požadavky systému ANDON.....	17
2.8 SMED .....	17
2.8.1 Postup snížení seřizovacích časů .....	17
2.9 VIZUÁLNÍ MANAGEMENT .....	18
2.9.1 Hlavní body vizualizace .....	18
2.9.2 Výhody vizualizace.....	18
2.10 BALANCOVÁNÍ OPERACÍ .....	19
2.10.1 Stanovení zákaznického taktu.....	19
2.11 ERGONOMIE A BEZPEČNOST .....	21
2.11.1 Cíle ergonomie.....	21
2.11.2 Zásady správného uspořádání .....	23
2.12 ANALÝZA, MĚŘENÍ A NORMOVÁNÍ PRÁCE.....	24
2.12.1 Přímá metoda měření času .....	24
2.12.2 Nepřímá metoda měření času .....	25
<b>3 SIMULACE VÝROBNÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>27</b>
3.1 VYMEZENÍ POJMU SIMULACE.....	27
3.2 PROCES TVORBY SIMULAČNÍCH MODELŮ .....	28
3.2.1 Definice problému.....	28
3.2.2 Stanovení cílů.....	28
3.2.3 Formulace modelu .....	28
3.2.4 Vytváření modelu .....	29
3.2.5 Verifikace a validace modelu.....	29
3.2.6 Provedení experimentů .....	30
3.2.7 Dokumentace a aplikace výsledků .....	30
3.3 PŘEHLED SIMULAČNÍCH NÁSTROJŮ.....	31
3.4 VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH NÁSTROJŮ .....	32
3.4.1 Rozdělení simulací .....	32
3.5 STAV VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH NÁSTROJŮ .....	34
<b>4 SEZNÁMENÍ S POUŽITÝMI SOFTWAREVÝMI NÁSTROJI</b> .....	<b>39</b>



4.1	GRAFICKÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ .....	39
4.2	PLANT SIMULATION .....	39
4.2.1	<i>Grafické uživatelské rozhraní Plant Simulation.....</i>	<i>40</i>
4.2.2	<i>Příklad modelování v Plant Simulation .....</i>	<i>41</i>
4.3	PRO ENGINEER .....	43
4.3.1	<i>Grafické uživatelské rozhraní v Pro Engineer Wildfire .....</i>	<i>44</i>
4.3.2	<i>Příklad modelování v Pro engineer .....</i>	<i>46</i>
<b>5</b>	<b>PŘÍPADOVÁ STUDIE NÁVRHU A SIMULACE VÝROBNÍHO PROCESU .....</b>	<b>48</b>
5.1	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	48
5.1.1	<i>Historie BOS.....</i>	<i>48</i>
5.2	ZADÁNÍ STUDIE PROJEKTU MQBX37.....	49
5.2.1	<i>Cíle studie .....</i>	<i>51</i>
5.3	ANALÝZA STUDIE .....	51
5.4	NÁVRH MNOŽSTVÍ PRACOVÍŠŤ A ZÁSoby VE VÝROBĚ .....	52
5.4.1	<i>Návrh velikosti boxů pro přístřihy AR a PR.....</i>	<i>53</i>
5.4.2	<i>Návrh velikosti boxů pro komponenty AR a PR.....</i>	<i>55</i>
5.4.3	<i>Příklady výpočtu komponentů .....</i>	<i>56</i>
5.4.4	<i>Stanovení množství komponentů ve výrobě.....</i>	<i>57</i>
5.5	BALANCOVÁNÍ VÝROBY .....	58
5.6	NÁVRH KANBANOVÝCH REGÁLŮ.....	61
5.6.1	<i>Návrh Kanbanových regálů pro přístřihy AR a PR .....</i>	<i>61</i>
5.6.2	<i>Návrh Kanbanových vozíků a okruhů .....</i>	<i>62</i>
<b>6</b>	<b>PROSTOROVÉ NAVRŽENÍ LAYOUTU .....</b>	<b>64</b>
6.1	MATERIÁLOVÝ TOK A POPIS OPERACÍ LINKY MQBX37 – VARIANTA A .....	64
6.2	MATERIÁLOVÝ TOK A POPIS OPERACÍ LINKY MQBX37 – VARIANTA B .....	66
6.3	MATERIÁLOVÝ TOK A POPIS OPERACÍ LINKY MQBX37 – VARIANTA C .....	69
6.4	ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ.....	71
<b>7</b>	<b>SIMULACE LINKY MQBX37.....</b>	<b>73</b>
7.1	VZNIK VÝROBKU .....	73
7.1.1	<i>Zánik výrobku.....</i>	<i>81</i>
7.2	SIMULAČNÍ MODEL .....	82
7.3	SIMULAČNÍ EXPERIMENTY .....	82
7.3.1	<i>Přehled experimentů.....</i>	<i>83</i>
7.3.2	<i>Experiment číslo 1.....</i>	<i>83</i>
7.3.3	<i>Experiment číslo 2.....</i>	<i>84</i>
7.3.4	<i>Experiment číslo 3.....</i>	<i>85</i>
7.3.5	<i>Experiment číslo 4.....</i>	<i>87</i>
<b>8</b>	<b>DOPORUČENÍ SIMULACÍ PRO PRAXI.....</b>	<b>88</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>89</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>91</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>

## Seznam pojmů a zkratk

Material Handler...	Pracovník zásobující výrobu
ARMREST.....	Loketní opěrka
AR.....	První část loketní opěrky
PR.....	Druhá část loketní opěrky
REFA.....	Přímá metoda měření čas
Sample Shop.....	Prototypová dílna
Zpětný skluz.....	Nakloněná rovina v kanbanovém regálu, sloužící pro odkládání prázdných boxů
JIT.....	(Just In Time – Výroba přesně na čas)
Úzké místo.....	Nejpomalejší operace ve výrobě
Model.....	Napodobení reálného systému
Entita.....	Dynamický objekt
BPM.....	Řízení podnikových procesů
BPMS.....	Systémy řízení podnikových procesů
Kanbanový regál...	Úložený prostor pro zásobu materiálu
Supermarket.....	Sklad zásoby materiálu
Operátor.....	Pracovník ve výrobě
Cutter.....	CNC stroj pro řezání látky
Worker.....	Pracovník ve výrobě
MTM.....	Nepřímá metoda měření času

# 1 Úvod

V první části práce je popsána teoretická problematika štihlé výroby, která reflektuje užívané nástroje a metody v BOS Automotive. Poté je zde popsána teorie simulací společně s postupem tvorby simulačních modelů. Součástí kapitoly je i výzkum procesních nástrojů, který zobrazuje míru jejich celosvětového využití v praxi. Závěrem první část popisuje softwarové nástroje aplikované při návrhu výrobní linky a seznamuje čtenáře se společností BOS Automotive.

Praktická část je zpočátku věnována požadavku zákazníka na výroby loketní opěrky počínaje rozměry až po množství kusů. Tyto informace jsou následně zpracovány ve formě časových výpočtů a analýzou potřebných zdrojů pro návrh výrobní linky (materiál, stroje, lidé). Problém nastává v případě, kdy se časová náročnost u výrobních kroků rozchází. Balancováním operací je dosaženo vyrovnaní časů jednotlivých úkonů a eliminaci úzkých míst. V otázce zásobování výrobní linky hrál významnou roli návrh Kanbanových regálů pro jednodenní zásobu materiálu, proto je k této tématice v práci přihlédnuto.

Během návrhů výrobní linky jsou využity 2D i 3D pohledy pro analýzu prostorového uspořádání layoutu. Omezující kritéria návrhu včetně dodržení zásad ergonomie pracoviště jsou podmínkami pro navrhované varianty. Následný grafický popis zobrazuje postup materiálu až do zhotovení výrobku společně se zásobováním dílčích pracovišť a odchodu výrobku z pracoviště.

Závěrečná část diplomové práce je věnována simulaci a simulačním experimentům vybrané varianty výrobní linky MQBX37. Na základě výsledků simulačních experimentů je navrženo možné využití simulačních nástrojů ve výrobních podnicích zabývajících se výrobou elektrických, automotive, energetických i strojních produktů.

## 2 Úvod do problematiky štihlé výroby

Zavedení termínu štihlé výroby se datuje v období 50. – 60. let 20. století ve firmě Toyota, jako reakce na nízkou produktivitu práce. Vytvořením nové výrobní linky obsahující více různých strojů za obsluhy jednoho pracovníka umožnilo firmě rapidní snížení časových, prostorových a peněžních nároků na výrobu. Jako princip štihlé výroby je možno definovat systematický přístup k identifikaci a zamezení plýtvání (omezení činností bez přidané hodnoty) formou neustálého zlepšování výrobních procesů. Mezi nejdůležitější faktory přispívající ke zvyšování přidané hodnoty výrobního procesu patří požadavek zákazníka.

V konečném důsledku se princip štihlé výroby zaměřuje pouze na výrobu produktů, které koncovému zákazníkovi přináší vysokou přidanou hodnotu a je ochoten za ně zaplatit (svařování, ohýbání, frézování atd.). V opačném případě zákazník není motivován platit za činnosti ve výrobě, které mu žádnou hodnotu nepřinášejí (prázdno, opravy atd.). Tento princip se opírá o několik metod používaných v rámci štihlé výroby (Just in Time, Kaizen, Kanban), které svojí filosofií (při správné implementaci) přispívají k efektivní funkci podniku.

### 2.1 Tvorba štihlé výroby

- Odstranění plýtvání
- Moderní a spolehlivé výrobní zařízení
- Způsobitelný výrobní proces
- Plynulý tok
- Tok jednoho kusu
- Minimalizace zásob
- Snižování počtu neshod
- Snižování výrobního času
- Minimalizace kontrolních pracovišť
- Kanban
- Standardizace výroby
- Vizualizace pracovišť
- Rychlé výměnné přípravky
- Týmová práce

Velmi důležitým kritériem pro implementaci dílčích částí štihlé výroby tvoří motivace a seznámení vhodně kvalifikovaných pracovníků s principy a filosofií štihlé výroby. [1]

## 2.2 Zákaznický takt

Zákaznický takt lze popsat jako rychlost výroby, vycházející z rychlosti prodeje. Zákaznickým taktem je dosaženo sjednocení rychlosti výroby, montáže a prodeje. Při výpočtu zákaznického taktu jde především o stanovení potřeby zákazníka a je nezbytné mu podřídit procesy a úzká místa v organizaci. Výroba tedy vzniká na základě požadavku zákazníka (následujícího procesu).

### 2.2.1 Výpočet zákaznického taktu

Výpočet zákaznického taktu je udáván jako poměr dostupného času na směnu a požadavkem zákazníka na směnu.

$$\text{ZÁKAZNICKÝ TAKT} = \frac{\text{čas na směnu}}{\text{požadavek zákazníka na směnu}} = \frac{27000s}{1425ks} = 0,35 \text{ min}$$

Se změnou zákaznického taktu probíhá automaticky změna produkce. Výše zmíněný princip lze aplikovat v průřezu celé organizace, například v logistice, účetnictví, výrobě a připadá tedy na každý proces v organizaci.[1]

## 2.3 Plýtvání

Plýtvání představuje ve výrobě opak přidané hodnoty. Pod pojmem plýtvání si lze představit vše, co neslouží k zvyšování přidané hodnoty výrobku. Je to vše, za co zákazník není ochoten platit. Přidaná hodnota jsou činnosti, které výrobek „fyzicky mění“ tak, aby splňoval požadavky zákazníka nebo specifický požadavek, za nějž je zákazník ochoten zaplatit. Všechny ostatní operace jsou bez přidané hodnoty

### 2.3.1 Zdroje plýtvání

- **Nadprodukce** – tzn. výroba většího počtu výrobků, než jaké požaduje zákazník,
- **Čekání** – ve výrobě je takto označen případ, kdy operátor musí čekat na dodání materiálu, který má zpracovat,
- **Velká mezioperační zásoba** – při hromadění rozpracovaných výrobků na výstupu

z výrobní stanice hrozí nebezpečí výroby mnoha neshodných výrobky,

- **Procesní plýtvání** – vhodně zvoleným technologickým postupem je nutné eliminovat veškeré nadbytečné procesní kroky,
- **Doprava (mezioperační)** - tento zdroj plýtvání je zapříčiněn nevhodným uspořádáním montážní linky,
- **Zbytečný pohyb** – jedná se o pohyb pracovníků, popř. zařízení během výroby,
- **Opravy, přepracování zmetků** – tato činnost je závislá na výrobě zmetků,
- **Nedostatečná komunikace, plýtvání znalostmi** – tato forma plýtvání existuje buď uvnitř výrobního závodu, nebo mezi závodem a zákazníkem, popř. závodem a dodavatelem.[2]

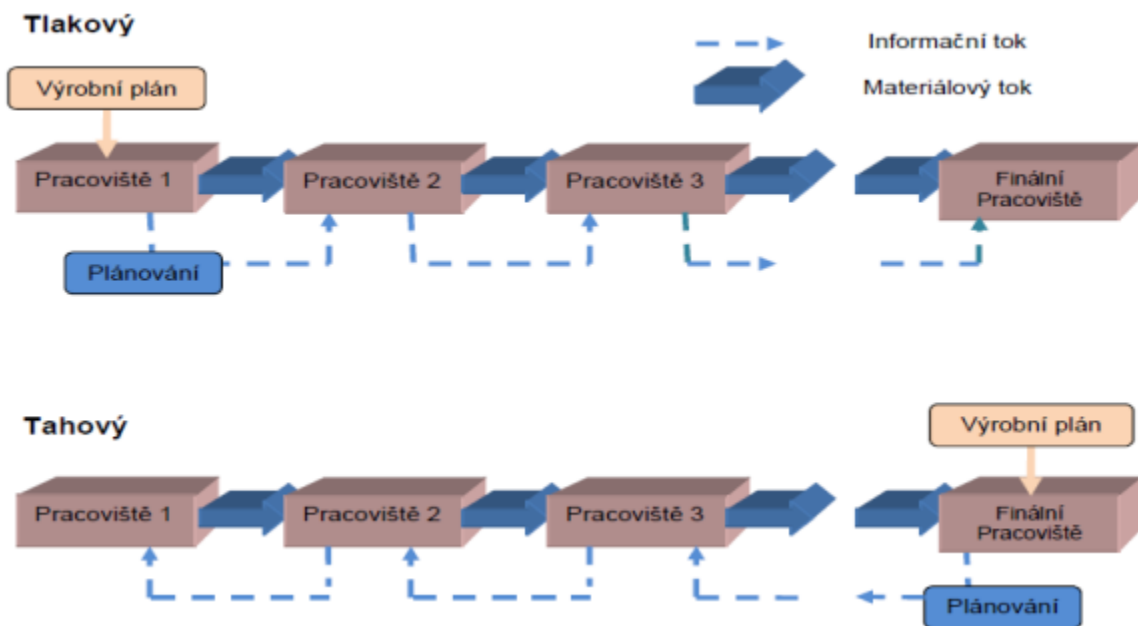
## 2.4 Kanban

Po druhé světové válce Toyota Production System (TPS), jako první firma začala používat metodu štlíhlé výroby Kanban. Vynálezci této metodiky jsou pánové Taichi Ohno a Shigeo Shingo. Přístup kanban (japonsky - kartička, štítek) spočívá v dodavatelsko - odběratelských vztazích mezi jednotlivými pracovišti, kdy každý pracovník figuruje na místě zákazníka i dodavatele. Odběratel v případě potřeby nových výrobků (rozpracované výroby) odešle kartu objednávka dodavateli. Dodavatel, který zároveň figuruje na místě výrobce, vyrobí a dodá výrobek (rozpracovanou výrobu) ve stanoveném množství, čase a potřebné kvalitě (dodací karta). Tento přístup zamezuje vytváření zásob na pracovištích a snižuje tak celkové náklady na skladování.

Další výhoda systému Kanban spočívá v samokontrolě fungující na bázi nutnosti jednotlivých dodavatelů a kupujících dodávat přesně na čas, beze zmetků a vzájemně nakoupené výrobky (rozpracovaný materiál) kontrolovat. Tato skutečnost vzniká jako přirozená reakce na požadavek maximální spokojenosti zákazníka a proto, v případě vytvoření chybového výrobku na jednom pracovišti, jej druhé po zjištění chyby odesílá zpět k reklamaci.

Z výše zmíněných skutečností je zřejmé, že metodika Kanban je zaměřena k výrobě JIT. Řízení metody Kanban spočívá na principu samo řídicích regulačních okruhů. V praxi se setkáváme s dvěma odlišnými přístupy tohoto systému. Tlakový a tahový systém se liší způsobem plánování a směru informačního toku. Tlakový systém využívá plánování a tok informací od počátku materiálového toku, naopak tahový systém se zaměřuje na plánování

a tok informací od konce výrobního procesu. Postup materiálu pracovišti zůstává však beze změny (**Obr. 1: Tlakový a tahový systém výroby**[3]).



Obr. 1: Tlakový a tahový systém výroby[3]

### 2.4.1 Dělení

- Výrobní
- Signální
- Dopravní
- Kartičkový
- Bedýnkový (boxový)
- Světelný
- Elektronický



Obr. 2: Kanbanová kartička[3]

### 2.4.2 Předpoklady pro zavedení

- Stálost poptávky i vyráběných produktů
- Nízké výkyvy v odbytu i dodávkách materiálu
- Proškolený personál s vysokou odborností
- Uspořádání pracoviště s plynulým tokem materiálu
- Kontrola přímo na pracovišti

### 2.4.3 Pravidla

- Jen dobré díly smí vstoupit do procesu
- Počet dílů v Kanbanové dávce musí být shodný s počtem dílů uvedeným na Kanbanové kartě
- Zásobovací proces musí vydat přesný počet správných dílů ve správný čas
- Původní počet Kanban karet by měl být redukován

### 2.4.4 Přínosy

- Snížení zásob
- Systémový tok informací v celém procesu výroby
- Sledování stavu zásob
- Podpora výroby
- Snížení pracnosti plánování
- Přehlednost stavu výroby
- Přehlednost stavu zásob
- Úspora přepravních nákladů[2]

## 2.5 Metoda 5S

Metoda 5S byla vytvořena v Japonsku pro zpřehlednění a zjednodušení pracoviště. Filosofie této metody je spojena se zaváděním vysoké hospodárnosti, pořádku a čistoty na pracovištích, která se musí odrážet v celé firemní kultuře, jakož i v přístupu a myšlení zaměstnanců. Metoda 5S vychází z 5 - ti japonských slov začínajících písmenem S = (5S). Předpokladem pro správnou implementaci metody je princip minimálního zatížení na pracovišti, (tzn. uložení, přesunutí nástrojů, přesně vyznačená místa pro každé nářadí, pohyb pracovníků atd.).

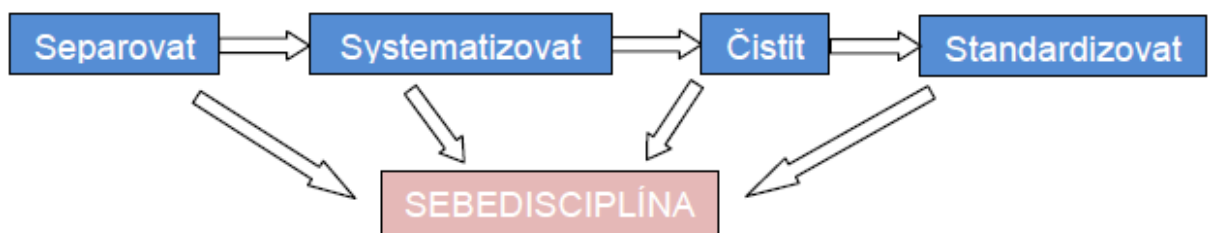
#### **Chyby na pracovišti:**

- Použití jiného nástroje
- Zbytečná manipulace s materiálem
- Kompletace neutříděných komponentů
- Hledání správného materiálu



- Špína na pracovišti
- Apod.

Zavádění metody 5S se postupem času stalo pro mnoho firem způsobem, jak zvýšit svoji konkurenceschopnost na trhu, udržet zákazníky, dosahovat vysoké přidané hodnoty a eliminovat ztráty v podniku. Velmi důležitá otázka při analýze charakteru práce je: „Co se ve firmě dělá a proč se to tak dělá?“. Tato otázka odpovídá na problematiku výkonnosti a prosperity firmy, ale i na zlepšení a zkvalitnění pracovních podmínek a s tím související morálku zaměstnanců.



Obr. 3 Postup metody 5S[3]

### 2.5.1 Postup implementace metody 5S

- **SEIRI - Úklid pracoviště:** Nejprve je nutné nalézt přebytečné nářadí, materiál na pracovišti a určit pro ně jiné vhodné místo eventuálně je z pracoviště odstranit (díly, zařízení, nástroje, dokumenty, atd.).
- **SEITON - Uspořádání pracovních kroků:** Následující krok stanoví návaznost jednotlivých operací (kroků) a na základě jejich posloupnosti se určují meze a množství předmětů na dílně.
- **SEISO – Čistota pracoviště:** Kontrola probíhá formou úklidu. Každý předmět i odpad má své předem určené místo. Zajištění čistoty pracoviště, nástrojů i zařízení je nezbytné pro správnou funkci organizace.
- **SEIKETSU – Standardizace práce:** Integrace výše zmíněných 3S do struktury organizace musí probíhat tak, aby je každý zaměstnanec znal a dodržoval. Dále pak vytvoření norem a toku informací, které povedou k snadné identifikaci a rychlému řešení vzniklých problémů.
- **SHITSUK – Disciplína pracovníků:** Posledním krokem je zajištění pořádku a postupu práce na pracoviště podle standardů.

## 2.5.2 Přínosy metody 5S

- Nízké zásoby na pracovišti 80%
- Omezení využitého prostoru 20 – 40%
- Časová úspora hledání pomůcek a materiálu 50%
- Časová úspora provádění operací 30%
- Zvýšení kvality 10 – 20%
- Zkrácení času náběhu 10 – 15%
- Rychlost zaučení nováčků kratší o 30 – 60 % [2]

## 2.6 Heijunka

Systém Heijunka je založen na vyrovnávání objemu a skladby sortimentu. V principu se jedná o rozplánování celkového objemu objednávek (za určité období) a jejich úrovní do stejného množství a mixu výrobků, které budou vyrobeny každý den. Zakázková výroba je sestavována produkty A a B v produkčních sekvencích dle objednávky zákazníků => (např. A, A, B, A, B, B, B, ...). Tato koncepce vede k nepravidelnému vytváření produktové služby a tudíž se projevují velké výkyvy produkce výroby v různých časových intervalech. Řešením těchto problémů je systém Heijunka, která skrze plánování každodenní hladiny výrobků bere v úvahu aktuální zákaznické požadavky. Pro vytvoření plánovací hladiny je potřeba si určit vzorec objemů a kombinací. Tj. při produkci 3A a 3B bude plánovací hladina vypadat ABABAB. Takto lze určit vyrovnávání, mix výrobní produkce.

### Problémy nevyrovnané výroby:

- Nepředvídatelnost nákupu
- Riziko neprodaného zboží
- Nerovnoměrné použití výrobních zdrojů
- Nestejný požadavek proti proudu procesů

### Výhody vyrovnaného plánu jsou:

- Flexibilita ve výrobě
- Snížené riziko neprodaného zboží

- Vybalancované použití pracovníků a strojů
- Uhlazený požadavek na procesy a dodavatele[1]

## 2.7 ANDON

Pro zdravý a bezproblémový chod organizace je velmi důležité nejen zvládat své procesy, ale také co nejdříve identifikovat a eliminovat problémy, které ve výrobě vznikají.

Systém ANDON je uplatňován jako alarm pro vedoucí i ostatní pracovníky podniku, který je spuštěn v okamžik vzniku problému. Jedním z hlavních komponentů systému je návěsná tabule, která různými signály v případě poruchy označí chybové pracoviště. Signály mohou být viditelné (zobrazují se symboly, celá schémata výroby, nebo textové pro snadnější identifikaci problému) nebo zvukové (rozdílné zvuky, melodie pro stanovení různých problémů). Výše zmíněné signály mohou být spuštěny pracovníky, nebo automaticky.

### 2.7.1 Požadavky systému ANDON

- Minimální použití textu
- Přehlednost
- Prostředky k zastavení výroby
- Volání pomoci
- Opravení problémů
- Oznámení závady zařízení a náradí
- Oznámení bezpečnostního problému[1]

## 2.8 SMED

Metoda SMED pochází z anglického výrazu Single Minute Exchange of Die a v překladu jej můžeme interpretovat jako výměnu nástroje během minuty. Patří mezi další metodu štíhlé výroby, která je zaměřena na eliminaci plýtvání ve výrobních procesech. Metoda je určena k celkové efektivitě zařízení. Pokud jsme schopni v co nejkratším čase efektivně vyměnit nástroje, seřadit linky a spolehlivě realizovat služby zákazníkům s minimálními náklady, zvýší se schopnost organizace konkurovat na trhu.

### 2.8.1 Postup snížení seřizovacích časů

**Seřizovací čas (čas výměny nástrojů) má dvě složky:**

- **Interní činnosti** - při nich je vypnuta linka a přerušena výroba.

- **Externí činnosti** - vykonávány mimo linku při běžící výrobě (s předstihem, či na náhradním výměnném agregátu).

1. krok - Nejdříve se snažíme maximum činností přesunout do externích časů
2. krok - Poté pracujeme prioritně na zkrácení interních činností, následně i externích činností.[1]

## 2.9 Vizuální Management

Hlavním cílem vizuálního managementu je seznámení a integrace jednotlivých cílů zaměstnanců do širších souvislostí. Důležitost vizualizace spočívá v poznání cílů, úloh, kompenzací a vizí organizace a na jejich základě následné jednání členů týmu. Každý člen týmu musí být dále schopen identifikovat na základě efektivní komunikace abnormality v procesech a rozpoznat odlišnosti plánovaného a skutečného stavu ve výrobě.

### 2.9.1 Hlavní body vizualizace

- Motivovat
- Řídit
- Porovnávat
- Učit
- Informovat

### 2.9.2 Výhody vizualizace

- Zlepšení a podpora pružnosti servisních pracovišť
- Rozšíření autonomie pracovišť
- Zlepšení jejich vztahu k prostředkům a k pracovnímu prostředí
- Podpora zavedení decentralizované organizace
- Rozvinutí jednoduchých vizuálních systémů
- Vizuální řízení procesu
- Kontrola procesů
- Větší procesní efektivnost
- Odstranění některých zprostředkovatelských funkcí dozorčího personálu a jejich přeorientování k funkcím organizace
- Vedení týmů a technická asistence
- Rychlejší řešení problémů pracoviště

- Větší integrace uvnitř organizace
- Současné posílení vnitřní soudržnosti týmu a jeho vztah ke zbytku firmy
- Zlepšení dialogu mezi operačními středisky
- Větší zainteresovanost v celkové firemní politice
- Budování firemní kultury
- Zjednodušení a zlepšení komunikace mezi lidmi ve firmě[1]

## 2.10 Balancování operací

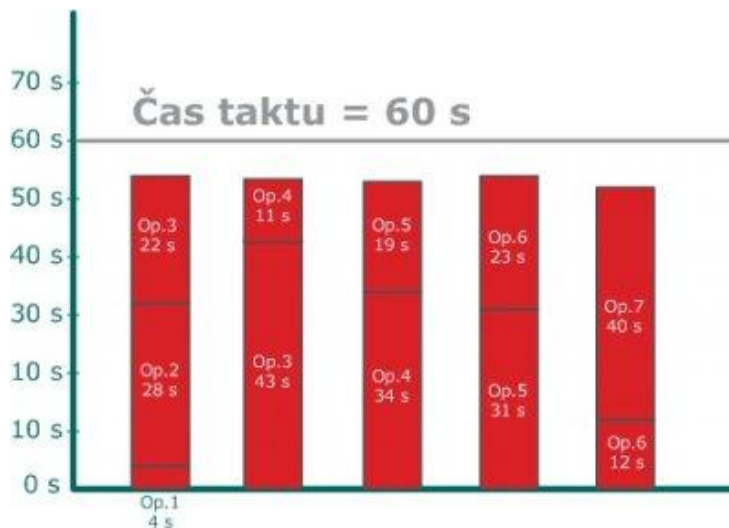
Balancování operací je metoda, která nejvíce vyhovuje požadavkům na optimalizaci a navrhování výrobních linek s cílem optimálního rozdělení činností mezi jednotlivá pracoviště, respektive operátory linky. Další z variant použití tohoto systému slouží pro správnou konfiguraci a vyvážení materiálového toku skrze celý podnik. Klíčovým vstupem pro tuto metodu je požadavek zákazníka, respektive zákaznický takt. Podpůrnými prvky balancování operací se využívají efektivní nástroje a formuláře (nejčastěji Excel), které samy přepočítávají obsazení a vytížení pracovníků a využití strojů při změnách kritérií. Pro složitější systém je možnost použití simulačních nástrojů, avšak pro metodu balancování výroby se příliš nevyužívá.[1]

### 2.10.1 Stanovení zákaznického taktu

**Graf 1: časové rozložení operací[1]** reprezentuje vytížení dílčích pracovníků při různých operacích. Z grafu lze vyčíst krátký časový cyklus první operace. Jako výhodná varianta se jeví rozdělení operací mezi pracovníky tak, aby na sebe jednotlivé operace navazovaly a tím se zajistil plynulý tok materiálu (**Graf 2: Balancování operací [1]**).



Graf 1: časové rozložení operací[1]



Graf 2: Balancování operací [1]

### Výsledek znamená:

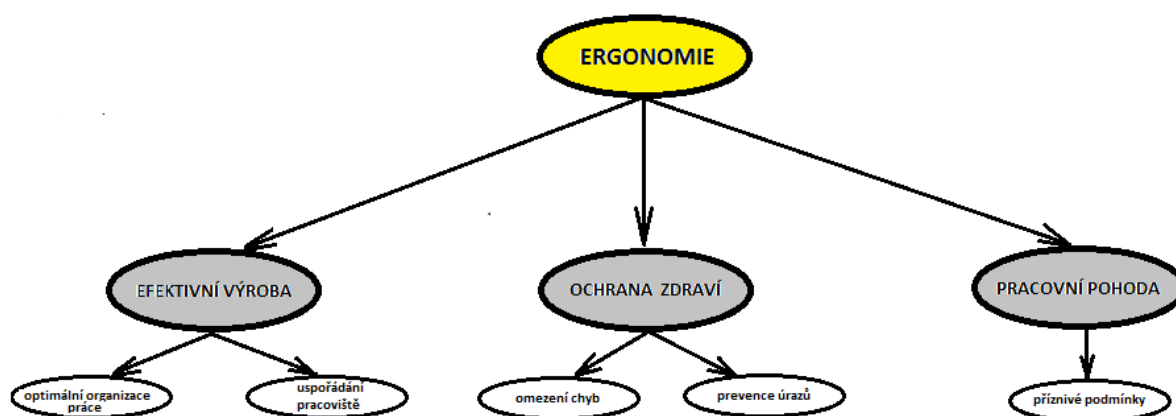
- Požadavek zákazníka je každých 60 sekund
- Zmíněný čas je tudíž maximální hranice pro výrobu výrobků
- Realizace kontinuálního toku
- Máme k dispozici diagram vytížení (cyklové časy a čas taktu) jednotlivých pracovníků
- První operace má krátký čas (4 s)
- Začlenění této operace do plynulého toku znamená realizaci druhé operace namísto první
- Ostatní operace je potřeba přerozdělit mezi operátory tak, aby na sebe navazovaly a splňovaly plynulý materiálový tok

## 2.11 Ergonomie a bezpečnost

Slovo ergonomie bylo převzato z latinských slov “ergo” – pracovní síla a “nomos” – zákon, pořádek. Ergonomii lze definovat jako interdisciplinární vědní obor, který vznikl na základě výzkumu vzájemných interakcí mezi člověkem pracovním prostředkem a prostředím. Pro stanovení těchto vztahů bylo nutné využití poznatku humanitních (psychologie práce, fyziologie, hygiena, antropometrie, biomechanika) a technických věd (řízení, kybernetika, normování), které vycházely například z limitů fyzické i mentální výkonnosti člověka.[2]

### 2.11.1 Cíle ergonomie

- Eliminace enormní pracovní zátěži
- Nastavení vhodného pracovního prostředí (výšky, úhly, vzdálenosti atd.)
- Přizpůsobení pracovního místa člověku



Obr. 4: Rozpad ergonomie

- **Optimální organizace práce**
  - Vytváření pracovních míst
  - Vytváření pracovních postupů
  - Časové studie
  - Určení množství pracovníků
  - Pracovní režim
  - Prostorové řešení layoutu
  - Adekvátní vedoucí pracovníci
  - Optimalizace pracoviště (hluk, prach, světlo atd.)

- **Omezení chyb**

- Snadný pohyb po prostorách a plochách
- Funkční uspořádání a vybavení
- Koordinace pracovníků
- Optimalizace pracovní polohy
- Optimalizace pracovních pohybů
- Kontrola řízení a regulace pracoviště
- Průběžná údržba (seřizování, opravy a čištění)
- Důsledná organizace práce
- Optimalizace pracovního prostředí (hluk, světlo, prach, vibrace atd.)

- **Prevence úrazu**

- Zamezení zakázané manipulace
- Zamezení rizikové činnosti
- Dostatečné materiálně-technické zajištění dané práce
- Provádění prací s požadovanou kvalifikací
- Provádění náročných prací zaměstnanci, jejichž duševní, fyzická či smyslová schopnost je adekvátní k prováděné práci

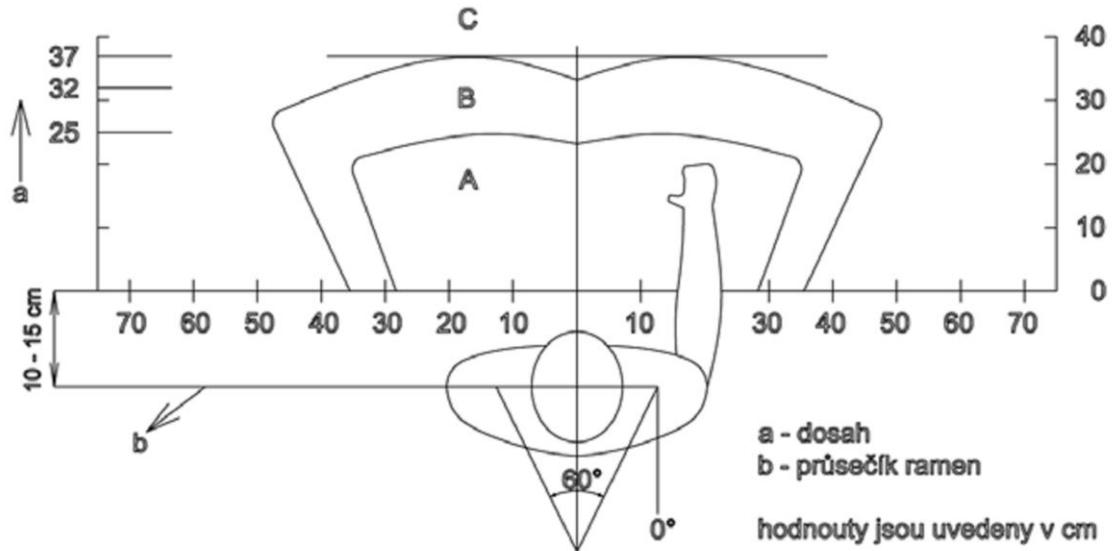
- **Příznivé podmínky**

- Zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví zaměstnanců
- Vytváření bezpečného pracovního prostředí
- Vyhledávání a hodnocení rizik
- Přijímání opatření
- Zabránění výkonu činnosti nezpůsobilému pracovníkovi
- Zabránění výkonu zakázaných prací
- Poskytování osobních ochranných pracovních prostředků, tam kde nelze zcela odstranit rizika
- Pravidelná kontrola úrovně bezpečnosti
- Zajištění školení
- Zajištění první pomoci[6]



### 2.11.2 Zásady správného uspořádání

„Místa pro materiál a nářadí musí být pevně stanovena. Tím, že každý předmět má své předem stanovené místo, se vytvoří podmínky pro kladné působení pohybovacích návyků.“



Obr. 5: Zobrazení manipulačního prostoru[2]

- A - Optimální prostor pro úchop
  - B - Vhodný manipulační prostor
  - B - Nevhodný/nepřípustný manipulační prostor
- Materiál, nářadí a ovladače strojů často používané mají být umístěny v optimálním prostoru (A) pracovníka, předměty málo používané nebo těžší v manipulačním prostoru (B) ve výši pracovní plochy. Do nepřístupného manipulačního prostoru (C) se umísťují předměty a pracovní zařízení, které vyžadují zvýšenou pozornost z hlediska zdravotního poškození a bezpečnosti práce.
  - Materiál, nářadí a ovladače musí být umístěny tak, aby byl zajištěn stanovený optimální sled pohybů. Například materiál požadovaný na začátku operace se umísťuje tam, kde skončil pohyb uzavírající předcházející cyklus. Předměty používané levou rukou se umísťují vlevo, předměty používané pravou rukou se umísťují vpravo.
  - Mezi jednotlivými předměty na pracovišti mají být co nejmenší vzdálenosti.
  - Uložení předmětu má dovolovat rychlé a snadné uchopení.
  - Pracoviště musí být uspořádáno tak, aby zajišťovalo pohodlný a bezpečný přístup pro

*operátora i obsluhující pracovníky.*

- *Z hlediska bezpečnosti práce má mít pracovník dobrý výhled a na pracoviště má být vidět alespoň z jednoho ze sousedních pracovišť.“[2]*

## **2.12 Analýza, měření a normování práce**

**Znát časy jednotlivých operací výroby? Na základně stanovení norem být schopen neustále zlepšovat efektivní využití zdrojů?** Tyto otázky strategického řízení jsou v dnešní době důležitou součástí každé organizace, která si je vědoma ztrát vznikající neefektivní výrobou. V případě analýzy, měření a normování práce existuje několik nejvíce užívaných metod.

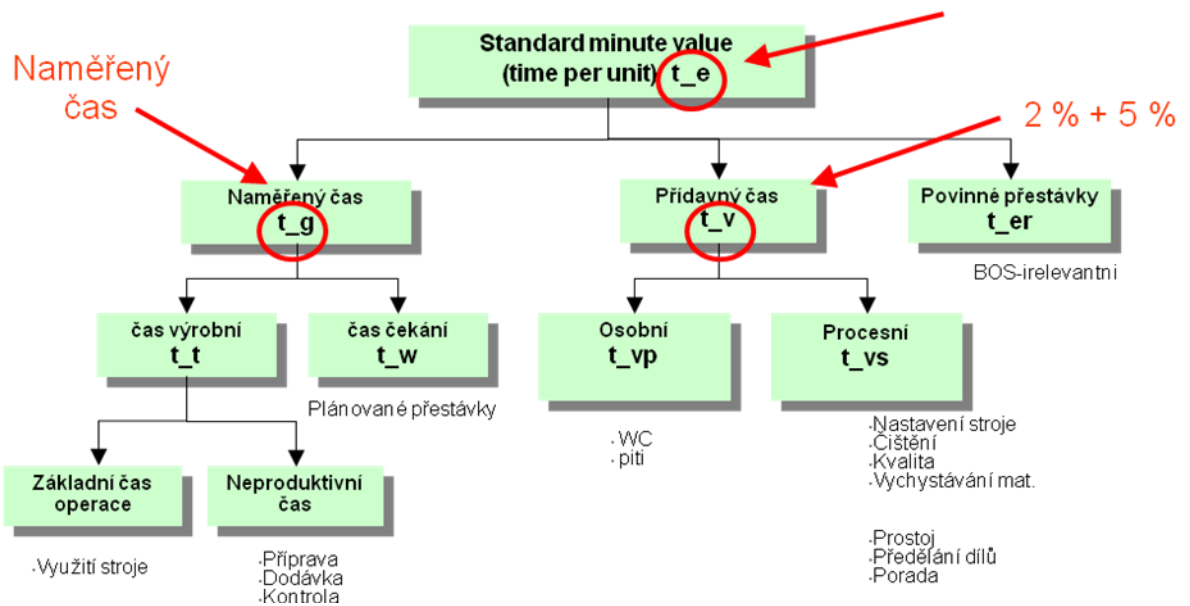
### **2.12.1 Přímá metoda měření času**

Patří mezi nejjednodušší metody měření času. Tato metoda je založena na měření výkonu pracovníka při užití klasických stopek. Postup nevyžaduje speciální znalosti v oblasti měření času a tudíž finanční i časové náklady na realizaci jsou nízké. Negativními faktory jsou absence prověření postupu práce a její ergonomie. Tato skutečnost se může negativně odrazit při motivaci pracovníků.

#### **Metoda REFA**

Tento systém klade velký důraz na pozorovatele a na jeho schopnosti posoudit náročnost a účinnost provádění pozorované práce. Následné korigování naměřených časů vyplývá z možnosti posouzení výše zmíněných vlivů.

- Přímé měření času
- Přídavný čas
- Počet opakování
- Odhad pracovního výkonu %



Obr. 6: Jednotkový čas[3]

### 2.12.2 Nepřímá metoda měření času

Metoda funguje na principu předem určených časů, které jsou dle normy již nadefinovány. Díky tomuto faktoru (společně s ergonomií) se zvyšuje citlivost na metodiku práce. Mezi další obrovskou výhodou patří využití metody při návrhu a postupné realizaci výrobní linky, hodnocení náročnosti a pracnosti operace. Slabá stránka metody spočívá ve stanovení strojních časů. Další z hlavních nevýhod je také nemožnost užití na všechny typy výrobních systémů a v neposlední řadě náročnost na trénink a schopnosti pozorovatele.

### Metoda MTM

MTM patří mezi základní systém, ze kterého vychází většina řešení v oblasti nepřímého měření času. Pro svoji funkci využívá standardizovaných norem, kde je uveden rigidní popis jednotlivých aktivit, pohybů apod. Na základě výše zmíněných norem lze zjistit nejvhodnější způsob pracovních postupů, pohybů těla, rukou, očí a trupu. Následné stanovení času jednotlivých operací je možno analyzovat a vyloučit nadbytečné, nebo neefektivní pohyby těla. Noví pracovníci jsou zpravidla proškolení na základě stanovených pracovních postupů, které jsou považovány za nejefektivnější. Tento přístup stanovení norem času zamezí vzniku nadbytečných nákladů a zajistí dodržování pracovních postupů. Výhodné použití je zejména ve velkosériových a hromadných výrobcích.

### Využití MTM

- Plánování produkce
- Snížení nákladů
- Standard výkonu
- Standard času
- Určení systému odměn
- Vyhodnocení nejlepší metody

### Výhody MTM

- Rigidní stanovení pracovních postupů
- Omezení přebytečných nákladů
- Snadné přizpůsobení změnám
- Určení norem již při plánování
- Pracovní metody lze přenášet
- Materiál pro optimalizaci

### Metoda MOST

Úplný název Maynardova technika sekvenčních operací vychází z fyzikální veličiny práce  $P = F \cdot s$ , která udává výsledek síly působící po dráze, tzn. vždy manipulace předmětem. Velká výhoda této metody spočívá v odstranění subjektivity přímého měření času, a tedy nemožnost zahrnout plýtvání do jejich norem. Zásluhou velmi příznivého poměru mezi náročností metody a její přesností, odpadá možnost zásadního ovlivnění stanovené normy pozorovaným člověkem. Další z technik nepřímého měření času lze uvést MTM SD, UAS, MEK, které s ohledem na šíři této práce dále popsány nejsou.

### 3 Simulace výrobního systému

Již v dávné minulosti mnozí umělci napodobovali svými díly obraz skutečného světa. Zdárný příklad umělce Michelangela, kdy se slovy „Proč jen nežiješ?“ k soše Davida interpretoval potřebu co nejdokonaleji vyjádřit realitu.

Vývojem nových funkčních technologií s možností vtažení subjektu (člověka) do digitálně vytvořeného světa se nemají vyzkoušet pouze schopnosti jejich tvůrce, ale mají sloužit převážně pro ověření vlastností a chování namodelované reality.

Simulací jsou prováděny experimenty modelů s cílem seznámení s jejich reálnou formou. Výsledky takto vytvořené simulace (grafické a tabulkové hodnoty), je ovšem nutné brát velmi opatrně, neboť její výsledky mohou být v porovnání s realitou zkresleny. Počítačovými modely lze tedy napodobit fungování reálného systému. Věrnost simulačních modelů a jejich výsledků však úzce souvisí s kvalitou simulačního nástroje a jejich tvůrců.

#### 3.1 Vymezení pojmu simulace

*„Simulace je výzkumná metoda, jejíž podstata spočívá v tom, že zkoumaný systém nahradíme jeho simulátorem a s ním provádíme pokusy s cílem získat informace o původním zkoumaném systému. Simulační model je dynamický systém, v němž nastávají události a stavy jako ve zkoumaném (simulovaném) systému, a to ve stejném pořadí, avšak obecně v jiných časových okamžicích. Prvky modelu nemusí být trvale v modelu, mohou se dynamicky měnit.“[4]*

Simulace je tedy nahrazení chování reálného systému jeho imitací v čase. Simulační modely lze vytvářet nejen pomocí počítačů. Chování reálného systému v čase je možné zachytit pomocí různých matematicko-logických vztahů a vazeb mezi dílčími prvky reálného systému. Vlivem chybných vazeb a vztahů nadefinovaných v simulačním modelu může dojít k zachycení a následnému zpracování chybných výsledků. Tomuto stavu předcházíme pomocí verifikace a validace simulačního modelu. Po ověření správnosti simulačního modelu můžeme pomocí předem definovaných experimentů odpovídat na otázky typu, co se stane když? Tento přístup umožňuje využít simulaci jako nástroj pro analýzu vlivu změn na existující reálný systém, nebo chování nových systémů.

## 3.2 Proces tvorby simulačních modelů

### 3.2.1 Definice problému

Podnět k tvorbě simulačních modelů vzniká na základě existence problému. Z pohledu získání informací o aplikaci simulačního modelu, jej lze rozdělit do 2 fází.

- 1) **Orientační fáze** – Získání předběžných informací o využití simulačního modelu, jeho časové i finanční náročnosti a analýza přidané hodnoty simulačního modelu.
- 2) **Výzkumná fáze** – Získání podrobných informací o přesném stavu systému, dílčích časech operací, vstupů, výstupů atd., které slouží pro vytvoření odpovídajícího modelu.

Před vznikem samotného modelu je tudíž nutné si uvědomit několik faktorů, které mohou ovlivnit rozhodnutí o vytváření nového simulačního modelu.

- Lze problém vyřešit jiným způsobem než simulací?
- Existuje podobný simulační model?
- Lze vytvořit vlastní zjednodušený model řešení problému?

### 3.2.2 Stanovení cílů

Samotné zjištění informací o stavu problému a vzniku jeho příčin pro vytvoření simulačního modelu nestačí. Velmi důležitou součástí je stanovení přesného cíle, který má model realizovat. V této fázi je nezbytné zapojení širšího okruhu zainteresovaných pracovníků (management, mistři, operátoři) pro pochopení systému a stanovení očekávání od simulačního modelu.

### 3.2.3 Formulace modelu

Před samotným programováním počítačového modelu, je velmi důležitá představa o správnosti abstrakce modelu. V opačném případě by mohlo dojít ke špatnému pochopení reálného systému a tudíž jeho odlišného chování od systému namodelovaného. Pro vytváření abstraktního modelu je možné využít 4 základních popisů:

- 1) **Verbální** – Úvodním popisem konceptuálního modelu. Vytváří se pro následné zpřesnění.
- 2) **Schematický** – Zobrazení konceptu pomocí schémat.
- 3) **Matematický** – Nejsložitější, ale také nejpřesnější popis. Velmi často realizován pomocí diferenciálních rovnic.

4) **Vývojový diagram** – Z hlediska vizualizace je tento popis nejuhodnější, ovšem lze jej použít jen v případě, kdy je možnost reálný systém graficky zobrazit, pomocí vzájemně propojené posloupnosti dílčích akcí, které se dále rozvětvují.

### 3.2.4 Vytváření modelu

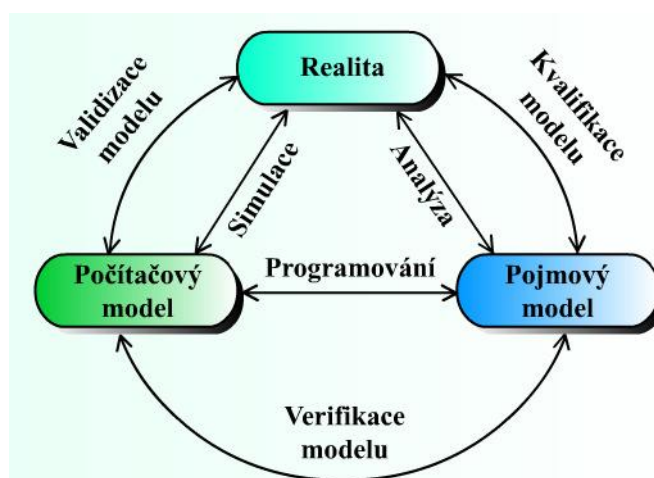
Spočívá v převedení formálního modelu pomocí programování do počítačové podoby.

### 3.2.5 Verifikace a validace modelu

Koncept počítačové simulace se vytváří pro využití výsledků simulačních úloh v různých oblastech. Například stanovení rozložení výrobní linky, schválení investic a dalších. Tudíž určitá jistota správnosti výsledků simulační úlohy musí být nutným předpokladem pro jeho využití třeba v rozhodovacím procesu. Proto se využívá metoda verifikace a následné validace pro ověření správnosti počítačového modelu.

**Verifikace** – Odpovídá ověření správnosti postupu, kdy převádíme výše popsany formální model do modelu počítačem vytvořeného.

**Validace** - Spočívá v úplném ověření správnosti počítačového modelu. Je to tedy ověření správnosti počítačem vytvořeného modelu v konfrontaci s odpovídajícím zadáním a tedy totožným chováním reálného systému. Validaci je možné provádět pouze v případech, kdy známe důkladně chování reálného systému a tím jsme schopni určit možné odchylky počítačového modelu. V případě neshody reálného a uměle vytvořeného systému je nutné nalézt neshody a opět provést validaci. Tento postup je ovšem v mnoha případech velmi složitý a časově i finančně nákladný.



Obr. 7: Verifikace a Validace[4]

**Proces validace lze provést několika metodami:**

- Srovnání simulačního modelu s reálným systémem
- Srovnání simulačního modelu s jiným modelem
- Expertní prověření
- Empirická metoda

**3.2.6 Provedení experimentů**

Experimenty mají v procesu tvorby simulačního modelu charakter odpovídající na otázky: co se stane když? Například přidáním operátora, snížením výrobního času, přidáním stroje a další. V případě experimentů je možné jejich plánování s možností flexibilní změny v závislosti na výsledných simulacích. Cílem je najít nebo se blížit výsledkům, které reflektují se stanovenými cíli.

**3.2.7 Dokumentace a aplikace výsledků**

K poslední fázi vytváření simulačního modelu patří zachycení postupu tvorby simulačního projektu a jeho implementace v reálném systému. V této fázi je opět nezbytná spolupráce managementu, mistrů a dalších zaměstnanců firmy v procesu aplikace výsledků simulačních běhů. Při implementaci výsledků je však velmi důležité seznámit a ztotožnit širší portfolio pracovníků s koncepcí změny, a tím zvýšit šanci na úspěšnou implementaci. Implementace návrhu by měla vést ke zlepšení současného stavu systému a tedy ke splnění stanovených cílů. V případě stagnace nebo dokonce zhoršení systému je nutný návrat k validaci počítačové simulace.



### 3.3 Přehled simulačních nástrojů

Tento přehled simulačních nástrojů byl vytvářen na základě dizertační práce pana Ulrycha Z[10] a získaných materiálů z internetu.

Název	Výrobce	Typ simulace	Použití
Alpha/Sim	Alphatech	Diskrétní	PC komunikační sítě, layout dílny, Automatizace
Arena	Rockwell Automation	Diskrétní	Výrobní systémy, Manipulace s materiálem
Adomod	Visual 8	Diskrétní	Doprava, manipulace, návrh zlepšení layoutu ad.
Autosched	AutoSimulations	Diskrétní	Montáž, testování, Analýza, Zlepšování kapacit ad.
Awesim	Pritsker Corporatio	Diskrétní	Všeobecná aplikace
Extend	Imagine That, Inc	Spojité Diskrétní, lineární, Nelineární	Všeobecná aplikace
Extend,+BPR	Imagine That, Inc	Nadstavba Extend o BPR	Podnikové procesy
Extend, + Manufacturing	Imagine That, Inc	Nadstavba Extend	Modelování podnikových a komerčních procesů
Factor/AIM	Symix Systems	Diskrétní	Zlepšování výrobních a nevýrobních systémů
GPSS/PC	CEFACT and OASI	Diskrétní	Všeobecné použití
GPSS/World OS/	CEFACT and OASI	Diskrétní i spojitá	Všeobecné použití
GPSS/H	CEFACT and OASI	Diskrétní	Manipulace s materiálem, výroba, distribuce atd.
Kameleon		Všeobecný nástroj	Linky, chemický průmysl
Modeline		Všeobecný nástroj	Komunikační sítě, PC systémy
ModsimIII	Caci internation	Diskrétní	Všeobecné použití
ProModel	Pro Model Corporation	Diskrétní	Zlepšení návrhu výrobního systému
Simple++	Aesop	Objektový	Výroba, logistika, atd.
Simprocess	Caci International	Procesní	IT analýza, Logistické inženýrství atd.
Simscrip II	Caci International	Všeobecný, Diskrétní, Procesní	Telefonní sítě, doprava, průmyslová výroba vojenství
VSE	Orcas Computer	Diskrétně-událostní univerzální	Řízení letecké dopravy, reengineering, ohodnocení složitých systémů komunikace atd.
Witness	Humusoft	Diskrétní	Operační a strategická analýza, výrobní logistika a obslužné systémy
Plant Simulation	Siement	Diskrétní	Výroba, Logistika, Optimalizace, Analýza ad.

Tabulka 1: Přehled simulačních nástrojů[10]

### 3.4 Využití simulačních nástrojů

Vlivem rozvoje informačních technologií a vzniku složitých vzájemně provázaných systémů, se stává složitější zachytit a správně interpretovat předpoklad chování systémů. I z těchto důvodů se simulační metody stávají více žádoucí než v minulosti a tedy šíře jejich působnosti neustále roste.

#### Oblasti využití simulačních nástrojů:

- Výrobní systémy
- Logistické systémy
- Obchodní systémy
- Vojenské systémy
- Dopravní systémy
- Řízení podnikových procesů
- Atd.

#### 3.4.1 Rozdělení simulací

##### 1) Využití simulací v systémech s možností analytického řešení

- **Operační výzkum**

- **Model hromadné potřeby**

Zkoumá oblasti procesů, ve kterých vlivem omezené kapacity dochází ke kumulaci požadavků zákazníků na entitu. Jinak řečeno se tato metoda modelování nazývá teorie front. Pro příklad si lze představit požadavek zákazníků na služby myčky. V případě velkého zájmu, dochází k hromadění automobilů před myčkou.

- **Model zásobování**

Je užíván pro stanovení dílčích časů zásobování dodavatele tak, aby nedocházelo k prostojům například ve výrobě vlivem opoždění dodávky, ale také aby nevznikaly velké zásoby v případě dodávky předčasně. Obě varianty mohou způsobit velké finanční náklady a tudíž ztráty.

### - **Model řízení projektů.**

V této oblasti se jako součást tvorby simulačních modelů využívá i dalších metod jako jsou metody stanovení času REFA, PERT a další, kdy u projektového řízení požadujeme znalost projektu jako celku. Tedy veškeré činnosti, které se v projektu vyskytují se vzájemnými vazbami a jejich časovou náročností.

### - **Rozvrhování výroby**

Prostřednictvím analytického řešení mnohdy nelze přesně určit požadovaný výsledek v závislosti na faktorech, které na systém působí. Úlohou rozvrhování výroby je snaha určit pořadí zpracování výrobků u jednotlivých pracovišť, délku jejich trvání a v neposlední řadě plynulost toku.

### • **Ekonometrie**

Oblast zabývající se výzkumem a aplikací experimentů s ekonometrickými modely. Tímto pojmem rozumíme matematický model, který usiluje o vyjádření ekonomické hypotézy pomocí matematicko-statické formulace. Jako příklad lze uvést tržby z prodeje plošných spojů.

#### **1) Podnikové simulace**

Zjednodušeně lze říci, že podnikové simulace jsou určeny pro dlouhodobou aplikaci výsledků simulačních běhů v reálných systémech. Předpokladem tedy je dynamicky se měnící systém s množstvím faktorů, které je nutné v simulačním modelu zohlednit. Takovými dynamicky se měnícími faktory mohou být:

- Konkurence
- Legislativa
- Daně
- Množství zakázek
- atd.

Podniková simulace se tedy snaží o snížení, respektive určení hodnoty rizika s mírou neurčitosti s možností dynamické zpětné vazby. Propojením existující podnikové databáze se simulačním programem lze dynamicky se měnící realitu pozorovat v čase.

## 3.5 Stav využití simulačních nástrojů

### METODOLOGIE

#### Stanovení výzkumného problému

Výzkum byl uskutečněn v Plzeňském kraji. Oslovil jsem společnosti, které se zabývají výrobou elektrotechnických, automotive a strojírenských výrobků. Dotazník byl rozeslán 75 firmám a vyplněno bylo 6.

#### Cíl výzkumu

Cílem tohoto výzkumu je zjistit stav využití simulačních nástrojů v praxi.

#### Hlavní výzkumná otázka

Výzkumná otázka je stanovena: „Jaké je využití simulačních nástrojů pro tvorbu podnikových procesů v praxi?“

Výzkum se zabývá faktory (obor působnosti, velikost společnosti, složitost výroby), které nejvíce ovlivňují využití simulačních nástrojů v praxi.

#### Volba metody

Pro tento výzkum jsem zvolil metodu kvantitativního výzkumu. Výzkum byl proveden pomocí předem stanoveného dotazníku. Dotazník byl dobrovolný. Obsahuje celkem 9 otázek, z nichž posledních 5 se odvíjí od odpovědi na otázku číslo 4.

#### Výstup

Z důvodů nízkého počtu respondentů, kteří odpověděli na zasláný dotazník, nemá výzkum Využití simulačních nástrojů v praxi adekvátní vypovídající hodnotu. Z tohoto důvodu je zde uvedená problematika využití procesních nástrojů shrnuta komplexně v celosvětovém měřítku.

Uváděné výzkumy jsou převzaté z publikace The State of Business Process Management - February 2010 od autorů Celia Wolf a Paula Harmona, které byly prováděny celosvětově mezi 264 respondenty od roku 2005.[9]

## Procesní standardy

Jakákoliv organizace obchodující s různými výrobky, nebo poskytující služby, ke své činnosti potřebuje standardy. Standardy tedy sjednocují požadavky na produkty tak, aby bylo možné používat různé produkty od různých firem za stejných podmínek. V případě nestandardizovaných produktů by se mohlo například stát, že vrtačka od výrobce X nebude kompatibilní s vrtákem od výrobce Y. Níže v (**Tabulka 2: Standardy, o které mají organizace největší zájem**[9]) lze spatřit rozdělení jednotlivých standardů a jejich procentuální rozdělení mezi respondenty. Klesající trend požadavků na ISO 9000, Sarbanes-Oxley a UML od roku 2005 kompenzuje BPMN, jehož zájem byl v roce 2009 dvojnásobný oproti roku 2005. Dále se nárůst zájmu přenesl na standardy OMG, jejichž nárůst představoval od roku 2005 20%. [9]

O které z následujících procesních standartů je ve vaší organizaci zájem na implementaci? (Možno vybrat více možností)						
	2005		2007		2009	
ISO 9000	142	49%	104	40%	89	36%
Sarbanes-Oxley	131	45%	86	33%	74	30%
CMM/CMMI	82	28%	73	28%	75	30%
BPEL	68	23%	67	26%	49	20%
XPDL			15	6%	16	6%
BPMN	65	22%	106	41%	126	51%
UML	96	33%	78	30%	59	24%
OMG Business Process Metalmodel	28	10%	19	7%	18	7%
OMG Business Rules Metalmodel	12	4%	10	4%	14	6%
OMG Business Process Maturity Model			28	10%	35	14%
OMG Model Driven Architecture (MDA)			21	8%	18	7%
Další	60	21%	61	23%	48	19%

Tabulka 2: Standardy, o které mají organizace největší zájem[9]

### BPM výdaje:

Na otázku výdajů, které dotázané organizace investovaly do práce s podnikovými procesy, více jak polovina odpověděla méně než 500.000 USD. V roce 2007 byla do výzkumu přidána odpověď přes 50 milionů USD. Lze tedy z (**Tabulka 3: Kolik organizace investovaly do BPM**) spatřit vzrůstající tendenci společností investovat do oblasti podnikových procesů v cenové relaci od 5 milionů výše. Ostatní možnosti jsou vybírány respondenty procentuálně přibližně stejně jako u předcházejících let.[9]

Kolik vaše organizace přibližně investovala do podnikových analýz, procesního řízení, monitoring, redesign a zlepšování v roce 2005? Včetně BPM řízení, Štíhlé výroby, Six Sigma a Automatizace procesů. (Částky jsou uvedeny v USD)						
	2005		2007		2009	
0-500,000	185	57%	136	51%	136	54%
500,000-999,999	50	16%	42	16%	38	15%
1million-5millionů	63	19%	55	21%	52	21%
5millionů-10millionů	10	3%	10	4%	9	4%
Přes 10 milionů	16	5%	18	7%	11	4%
Přes 50 milionů			5	2%	7	3%
<b>Celkem</b>	<b>324</b>	<b>100%</b>	<b>266</b>	<b>100%</b>	<b>253</b>	<b>100%</b>

Tabulka 3: Kolik organizace investovaly do BPM[9]

**Produkty a služba BPM, které společnosti v současné době využívají:**

Z (Tabulka 4: BPM nejčastěji využívané produktů a služeb) je patrná klesající tendence využití grafických modelovacích nástrojů, které tvořily v roce 2009 70% všech odpovědí, tj. o 7% méně než v roce 2005. Nejzajímavější nárůst v roce 2009 nastává v případě využití zdrojových modelovacích nástrojů (ProVizion, Mega). V dalších letech je očekáván zvýšený zájem o analýzu a redesign procesů, které mohou přispět ke snížení firemních nákladů. Zvýšený zájem je očekáván také v oblasti softwarů pro modelování podnikových procesů, které s přispěním rozšíření komplexnosti nabízených balíků je jedním z dalších bodů vedoucích k častějšímu využití těchto nástrojů.[9]

Jaké BPM produkty a služby obvykle využíváte ve vaší organizaci? (Vyberte všechny které používáte)						
	2005		2007		2009	
Grafické modelovací nástroje (Vision)	247	77%	199	74%	183	70%
Zdrojové modelovací nástroje (ProVision Mega,Casewise)	122	38%	85	32%	104	40%
BMP balík, který může řídit v reálný čas realizaci obchodního procesu	74	23%	64	24%	67	26%
Nástroje pro řízení pravidel procesů a aplikací	56	17%	50	19%	46	18%
Procesní Monitoring/BI nástroje, které přenášejí informace do přístrojových desek	58	18%	65	24%	67	26%
Vzdělávání v procesu strategie, architektury nebo výkonů.	56	17%	44	16%	47	18%
Vzdělávání v procesu analýzy a návrhu	107	33%	82	31%	89	34%
Vzdělávání v procesu redesign a zlepšování metodiky	78	24%	65	24%	74	28%
Vzdělávání v BPM systémů	47	15%	38	14%	48	18%
Účast na konferencích BPM	99	31%	94	35%	91	35%
Další	23	7%	26	10%	19	7%

Tabulka 4: BPM nejčastěji využívané produktů a služeb[9]

### Které nástroje mají v dnešní době největší hodnotu:

Tento výzkum se zaměřuje především na zjištění, který z uvedených nástrojů má pro společnosti největší hodnotu. Respondenti mohli zvolit více odpovědí, proto byl celkový výsledek v roce 2005 více než 100%. V případě srovnání roků 2007 a 2009, je možno spatřit klesající tendenci důležitosti grafických nástrojů a naopak pozvolný nárůst BPMS a nástrojů pro řízení skladových zásob. Pouze 3% dotázaných shledalo v roce 2007 a 2009 simulační nástroje jako nejdůležitější pro jejich společnost. Zajímavá je skutečnost snížení hodnoty BPMS nástroje v roce 2007, kde si i přes to udržel nástroj třetí pozici s dalším potenciálem růstu. [9]

Které z následujících softwarových nástrojů jsou pro řízení vašich podnikových procesů nejdůležitější?						
	2005		2007		2009	
Modelování organizačního prostředí	37	12%	13	5%	9	4%
Grafické nástroje (Visio, PowerPoint)	133	42%	83	31%	70	27%
Modelování podnikových procesů (IMB, Modeler, ProVisio)	122	39%	63	24%	70	27%
Nástroje podnikových pravidel	30	10%	5	2%	6	2%
Sklady	41	13%	11	4%	16	6%
Nástroje technologie řízení procesů (Workflow, EAI)	64	20%	34	13%	41	16%
Simulační nástroje	34	11%	8	3%	8	3%
BAM/ monitorování procesů v reálném čase	23	7%	3	1%	4	2%
Výkoné nástroje/systémy metrik	51	16%	22	8%	18	7%
Další	21	7%	22	8%	13	5%
<b>Celkem</b>	<b>556</b>	<b>177%</b>	<b>264</b>	<b>100%</b>	<b>255</b>	<b>100%</b>

Tabulka 5: Důležitost BPM softwaru[9]



## 4 Seznámení s použitými softwarovými nástroji

Cílem této části práce je seznámení s použitými softwarovými nástroji, které jsou využity v praktické části. Stručný popis vlastností, užití, vizuální zobrazení grafického uživatelského rozhraní (GUI) a ukázka jednoduchých modelů vytvořených v nástrojích.

### 4.1 Grafické uživatelské rozhraní

*„Grafické uživatelské rozhraní (anglicky Graphical User Interface, známe pod zkratkou GUI) je uživatelské rozhraní, které umožňuje ovládat počítač pomocí interaktivních grafických ovládacích prvků. Na monitoru počítače jsou zobrazeny okna, ve kterých programy zobrazují svůj výstup. Uživatel používá klávesnici, myš a grafické vstupní prvky jako jsou menu, ikony, tlačítka, posuvníky, formuláře a podobně.“[5]*

### 4.2 Plant simulation

- Producent: Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
- Název: Tecnomatix Plant Simulation 10 (64-bit).
- Verze: 10.0.0
- Datum vydání: 02. 09. 2010
- Distributor pro ČR: Siemens industry Software, s.r.o
- Cena a licencování:
- Demoverze: NE
- internetový odkaz: <http://www.plm.automation.siemens.com>

**Softwarový produkt Plant simulation je zaměřen na:**

- Objektově orientované modely s hierarchickou strukturou.
- Otevřená architektura s rozhraními více standardů.
- Správa knihoven a objektů.
- Optimalizace pomocí genetických algoritmů.
- Automatická analýza výsledků simulace.
- Tvůrce sestav HTML.



Obr. 8: Logo Softwarového nástroje Plant Simulation

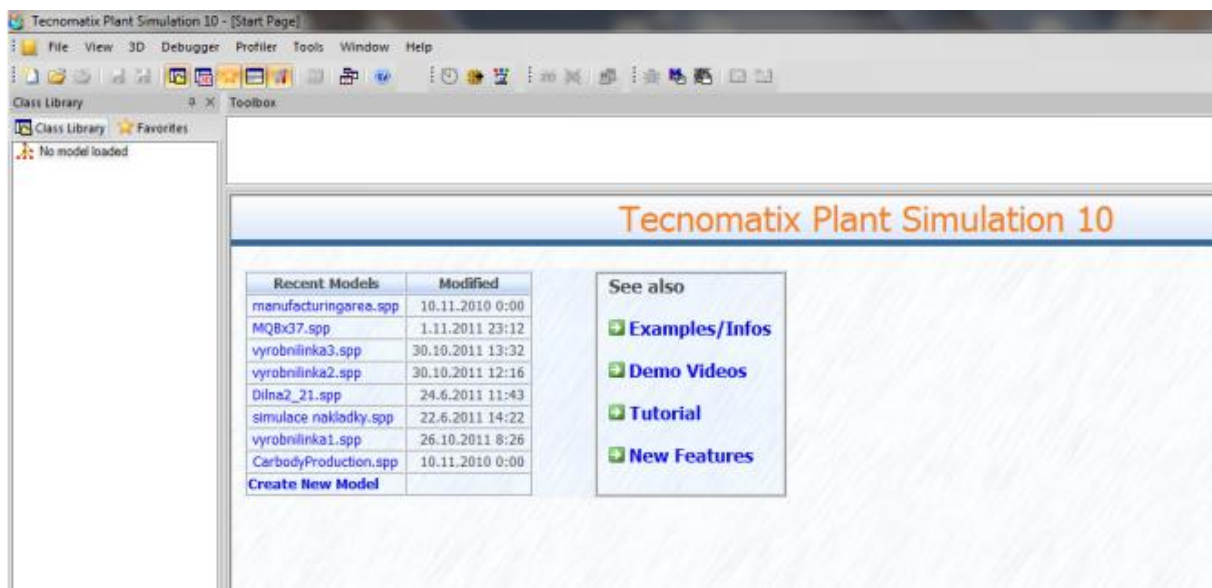
#### 4.2.1 Grafické uživatelské rozhraní Plant Simulation

GUI softwarového nástroje Plant simulation (**Obr. 9: GUI softwaru Plant Simulation**) představuje úvodní prostředí ve kterém si uživatel dále vybírá z poskytnutých možností.

Základní nabídku File, View a další, kterými nastavujeme program do požadovaného stavu (nastavení dokumentů, zobrazení 3D zobrazení, potřebných nástrojů pro tvorbu modelů a další) můžeme spatřit v horní části obrazovky.

V pravém horní liště se pod základní nabídkou dále nachází ikona, pro rychlou tvorbu modelu, složka pro otevření již uložených modelů a další ikony pro otevření 2D a 3D knihoven včetně nástrojů pro tvorbu modelů.

Uprostřed obrazovky se nachází v tabulce Recent Models - naposledy otevřené modely společně s možností vytvoření nového modelu (Create New Model). Druhý sloupec tabulky s názvem Modified znázorňuje poslední změnu v uloženém modelu. Vedlejší panel See also poskytuje uživateli další možnosti seznámení s programem. Odkaz Examples/infos poskytuje uživateli stručný přehled o nástroji, umožňuje zobrazit jednodušší i složitější funkční modely, které lze použít a nahlížet do jejich nastavení. Dále jsou k dispozici videa tvorby modelů – Demo Videos, krátký tutoriál pro vytvoření několika jednodušších modelů – Tutorial. Poslední odkaz - New Features slouží pro vytváření nového modelu.



Obr. 9: GUI softwaru Plant Simulation

#### 4.2.2 Příklad modelování v Plant Simulation

Na níže uvedeném GUI (**Obr. 10: GUI modelu v Plant simulation**) budou popsány jednotlivé části rozhraní, které slouží uživateli jako nástroje pro jeho tvorbu. V levé části obrazovky je zobrazena základní knihovna softwaru Plant Simulation. Zde se jednotlivé složky po kliknutí myši na ikonku + dále rozkládají, jak lze spatřit v rozpadu Models. Mezi nejdůležitější složky pro vytváření simulačních modelů patří:

**MaterialFlow** - v překladu tok materiálu. Zde jsou obsaženy objekty pro začátek simulace - Source, ukončení simulace - Drain, singl i paralelních procesů - Single proces, Paralellproces, sloučení i roztržení procesů - Assembly, Dismantle, včetně možnosti vzájemného spojování objektů - Connector, vytváření cest, dopravníků a dalších. Vytváření pracovníků se realizuje pomocí složky:

**Resources** - Na každém procesu lze nadefinovat požadované množství pracovníků. Vložením pracovního místa – Workplace vytvoříme prostředí, kde lze v dalších krocích nadefinovat cesty pracovníka – FootPath a místo pro jeho odpočinek – WorkerPool. Součástí této složky je i kalendář směn pracovníků, dle které je možno definovat kalendář denních i nočních směn a tak přesně simulovat vytížení pracovníků během měsíce i let. Dalšími složkami jsou:

**Informationflow** - která obsahuje možnosti definovat metody – Method, postupu práce, tabulkové hodnoty - Tablefile a další, které slouží pro nastavení informačních toků v modelu.

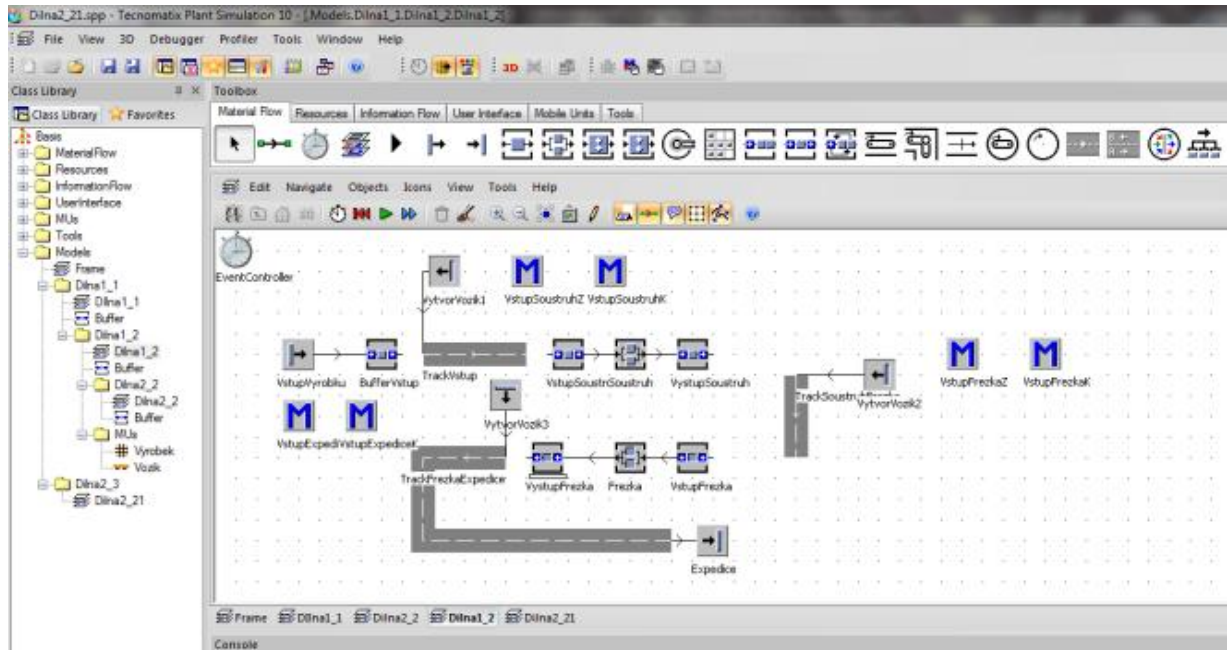
**UserInterface** - obsahuje objekty pro vytváření výsledků a statistik simulace – Chart, dále pak možnost zobrazení veškerých výsledků v grafech i tabulkách a tyto výsledky prezentovat na webových stránkách - Object Report. Velmi užitečným objektem je i Display, který během simulace zobrazuje hodnoty definovaného procesu.

**MUs** – Ve zkratce by se dalo říci, že složka MUs obsahuje objekty, které slouží k pohybu (anglicky Mobile Units). Entity v rámci simulace představuje produkt (výrobek), který prochází napříč simulovaným systémem. Dalším pohyblivým objektem je Transporter, který slouží k přepravě entit mezi dílčími procesy. Poslední z objektů složky MUs náleží container, který entity ukládá definovaným způsobem. Každému z objektu lze nadefinovat určité parametry a změnit jejich vzhled na základě potřeb uživatele.

**Tools** – Obsahuje soubor nástrojů pro vizualizaci materiálového toku - BottleneckAnalyzer, Sankeydiagram slouží pro zobrazení a sledování instancí MUs. V případě potřeby aplikace simulačních studií je k dispozici nástroj ExperimentManager. Posledním nástrojem v sekci Tools patří TransferStation, jejichž funkcí je nakládání, vykládání, překládání a pohyb z Transporteru nebo containeru na jinou stanici.

**Models** – Tato složka slouží pro vytváření vlastních modelů, a jak lze spatřit v obr. 10 je možno vytvářet nadstavby modelů simulací a dílčí objekty kopírovat do vytvořených složek pro stanovení jejich vlastností, které je nutné uvést ve vlastních modelech.

Pomocí nástroje **Show/Hide Toolbox**, je možné celou knihovnu zobrazit nad okno pro vytváření modelu a tím si vizuálně zjednodušit práci s objekty. V rámci modelu lze pak nastavovat parametry simulace (frame) - Edit, Navigate, Objects, Icons atd. Poslední lištou je zobrazen EventController pro spouštění a zastavení simulace, panel přiblížení a oddálení modelu s možností zobrazení jednotlivých částí modelu (spojnice, popisky, komentáře a další).



Obr. 10: GUI modelu v Plant simulation

### 4.3 Pro engineer

- Producent: Parametric Technology Corporation
- Název: Pro Engineer Wildfire
- Verze: 5.0
- Datum vydání: 2009
- Distributor pro ČR: COGRAS spol, s.r.o
- Cena a licencování:
- Demoverze: NE
- Internetový odkaz: <http://www.proengineertips.com/>

„Pro/ENGINEER je program založený na konstrukčních prvcích, což znamená, že součást se vyvíjí postupným přidáváním prvků, dokud není úplná. Každý konstrukční prvek je jednotlivě zaznamenán v systému.“[7]

#### Softwarový produkt Pro engineer je zaměřen na:

- Modelování založené na konstrukčních prvcích
- Parametrizace
- Asociativita
- Relace


































- Vytváření sestav



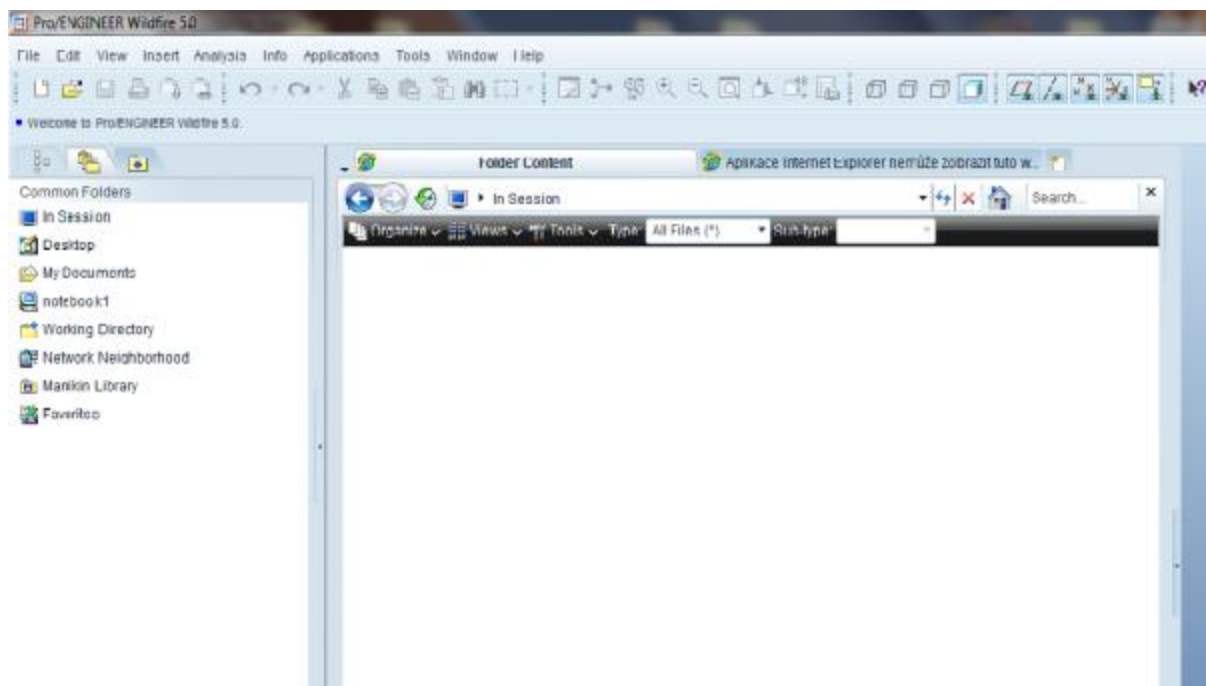
Obr. 11: Logo Pro engineer

#### 4.3.1 Grafické uživatelské rozhraní v Pro Engineer Wildfire

GUI softwaru Pro/engineer je tvořeno nabídkovou lištou (vrchní část okna), panely nástrojů (vrchní část okna pod nabídkovou lištou a pravá část při tvorbě modelů), a dalšími prvky (nápověda, okno zpráv, výběrový filtr atd.). Nabídková lišta poskytuje z roletové nabídky uživateli možnost vytváření a manipulaci modelu (**Obr. 12: GUI softwarový nástroj Pro Engineer**). V GUI Pro/engineer lze spatřit přednastavená tlačítka pro usnadnění tvorby modelu (**Tabulka 6: Přednastavené tlačítka[7]**). V případě potřeby uživatele je možno doplnit přednastavená tlačítka volbou Tools - customize screen.

Ikona	Popis	Ikona	Popis	Ikona	Popis
	Nový soubor		Uložené pohledy		Nápověda
	Otevřít soubor		Nastavení vrstev		Výběrový nástroj
	Uložit soubor		Správce pohledů		Nástroj na hledání
	Tisk		Zobrazit drátěný model		Regenerace modelu
	Překreslit obrazovku		Zobrazit model s neviditel. hranami		Vytvoření pomocné roviny
	Přepnout režim zobrazení		Zobrazit model bez neviditel. hran		Vytvoření osy
	Přepnout střed otáčení		Stínovaný model		Vytvoření křivky
	Zvětšit pohled		Zobrazit pomocné roviny		Vytvoření skicované křivky
	Zmenšit pohled		Zobrazit osy		Vytvoření bodů
	Přizpůsobit model oknu		Zobrazit body		Vytvoření souřadného systému
	Zorientovat model		Zobrazit souřadné systémy		Vytvoření analýzy

Tabulka 6: Přednastavené tlačítka[7]



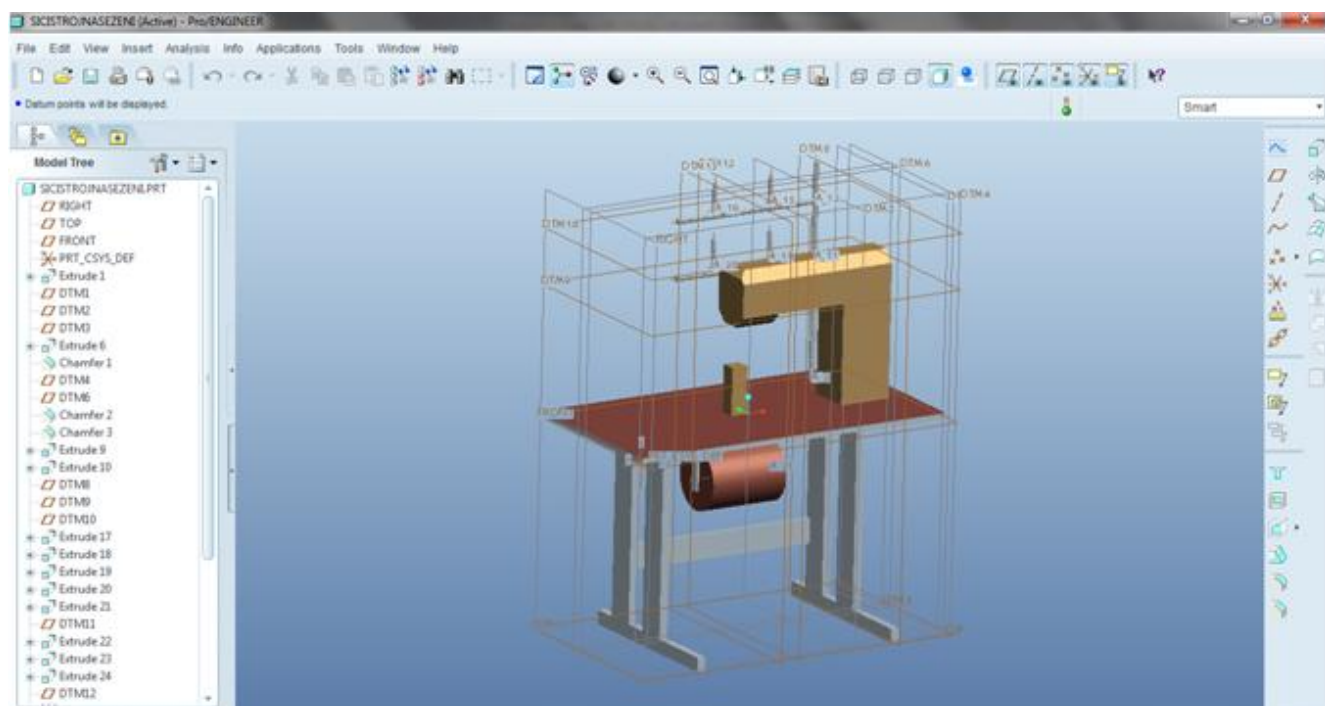
Obr. 12: GUI softwarový nástroj Pro Engineer

### 4.3.2 Příklad modelování v Pro engineer

Pro engineer pro tvorbu nových modelů poskytuje uživateli široké spektrum nástrojů. Standardně v levé části obrazovky je zobrazen strom modelu, který uvádí veškeré prvky modelu seřazené podle doby vytvoření prvku. Každý prvek má určen jméno, ikonu a vnitřní ID. Výše zmíněné prvky lze různě modifikovat, zobrazovat jejich informace, jednotlivě vybírat atd. Tlačítka nad stromem modelu lze celý strom skrýt či zobrazit, přizpůsobit strom modelu, zpřístupnit průzkumníka složek a URL spojení.

Při tvorbě nového prvku je možno definovat různé vlastnosti (směr, hloubku a další). V pravé, vrchní části od modelu šicího stroje jsou zobrazeny panely nástrojů. Výběrem jednotlivých prvků jsme schopni docílit přesných rozměrů i tvarů modelované části. K dispozici jsou nejen pomocné roviny, osy, body které slouží jako výchozí část modelu, ale také další prvky pro jeho tvorbu. Například vytažení, odebrání, skosení, zakulacení, zrcadlení a další.





Obr. 13: GUI vytváření nového modelu

## 5 Případová studie návrhu a simulace výrobního procesu

### 5.1 Představení Společnosti



BOS Automotive Products CZ, s.r.o.

U Porcelánky 786

431 51, Klášterec nad Ohří, CZ

Firma BOS je mezinárodní společností působící ve východní i západní Evropě, Severní Americe a Asii. BOS vyvíjí, vyrábí a distribuuje systémy pro interiéry vozů a svými technologickými postupy a zkušenostmi v oboru patří mezi významné firmy automobilového průmyslu. Firma BOS patří mezi soukromě vlastněné firmy (společně s dceřinými) spolupracující s většinou automobilek. Pro zavádění a dodržování principů štihlé výroby uplatňuje firma nástroje Kanban, Kaizen, 5S.

#### 5.1.1 Historie BOS

Historie společnosti se datuje od roku 1910 založením Wilhelmem Baumeisterem. S rozvojem firmy započal i vývoj nových technologií do interiérů automobilů. První sluneční roleta na zadní sklo byla vyvinuta roku 1934. Od roku 1978 - 1998 kdy následoval první kombinovaný systém krytu zavazadlového prostoru a zadržovacího systému, firma BOS otevřela 4 nové závody (v Leutkirchtu - Německo, Moszonsolmoku - Maďarsku, Wrexhamu - Velká Británie, Morristownu - USA) a byla založena firma BOS Automotive Products. V dnešní době se firma zabývá výrobou a distribucí interiérového příslušenství do automobilů, jako jsou úložné systémy, zejména vaky a tašky na lyže, sluneční clony do oken, krycí roletky zavazadlového prostoru, bezpečnostní a ochranné sítě a různé další příslušenství zavazadlového prostoru. V tomto oboru získala firma BOS vedoucí postavení na světovém trhu.



Obr. 14: Produktová řada KLA[3]

## 5.2 Zadání studie projektu MQBx37

Prvním krokem návrhu výrobní linky MQBx37 je požadavek zákazníka. Vycházím tedy z potřeby zákazníka na vlastnosti produktu, požadovaného množství a doby, za kterou je ochoten jej odebrat (zákaznický takt). V (Tabulka 7: Výrobek loketní opěrka) jsou zobrazeny údaje o požadavku zákazníka, od rozměrů výrobku, přes počet kusů/den =  $\frac{\text{počet kusů/rok}}{\text{pracovních dní/rok}} = \frac{613525}{253} = 2425\text{ks}$ , až po **zákaznický takt** =  $\frac{\text{čas na směnu}}{\text{požadavek zákazníka na směnu}} = \frac{27000\text{s}}{1212,5\text{ks}} = 0,35 \text{ min}$ . Na základě zákaznického taktu je nutné stanovit balancování výroby. Určení časové náročnosti montáže loketní opěrky  $t_g$ , dále vychází z naměřených hodnot metodou REFA (přímá metoda měření času), která byla aplikována v SAMEPL SHOP (prototypová dílna). Časy jednotlivých operací jsou uvedeny (Tabulka 8: Postup výroby AR a PR). Vyvážení ztrát  $t_e$  dále respektuje 7% nutných ztrát způsobenými přestávkami operátorů na pití, oddech, vyřazení vadných kusů a další.

Základní údaje výrobku Loketní opěrka			
Název části		AR	PR
Rozměry	Výška	75	60
	Délka	415	95
	Šířka	255	265
Počet kusů/rok		613525	613525
Pracovních dní/rok		253	253
Pracovní směna/h		7,5	7,5
Počet směn/den		2	2
Počet kusů/den		2425	2425
T <sub>e</sub>		0,31	0,31
T <sub>g</sub>		0,35	0,35
Obrázek			

Tabulka 7: Výrobek loketní opěrka

Počet pracovišť u AR	Postup výroby pro AR	kůže VW [min]	kůže Škoda [min]	kůže Seat [min]	Látka VW [min]	Látka Škoda [min]	Látka VW Seat [min]
Pracoviště 1	stříhání přístřihů				0,43	0,43	0,43
Pracoviště 2	šití poutka (pro verzi kůže je z vynilu)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Pracoviště 3	šití PE band	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Pracoviště 4	AR sešívání	3	3	3	3	3	3
Pracoviště 5	polstrování	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Pracoviště 6	AR kompletace	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Pracoviště 6	Nasazení bočního dílu	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Pracoviště 8	Nasazení cup holderu	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Pracoviště 10	Konečné balení	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

Počet pracovišť u PR	Postup výroby pro PR	kůže VW [min]	kůže Škoda [min]	kůže Seat [min]	Látka VW [min]	Látka Škoda [min]	Látka VW Seat [min]
Pracoviště 1	PR sešívání	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Pracoviště 2	PR lišty	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Pracoviště 3	PR kompletace	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

Tabulka 8: Postup výroby AR a PR

Časové údaje zobrazené v (Tabulka 8: Postup výroby AR a PR) je nutné sečíst, abychom dostali výsledný čas výroby T<sub>g</sub> – celkový čas (Tabulka 9: Výsledné časy výroby). Jako přídavný čas pro respektování ztrát vzniklých během výroby, byl vypočtený T<sub>e</sub> čas =

$T_g + T_g * 7\%$ . Z výše zmíněných časů byl následně vypočítán vážený průměr, kde byla brána v úvahu důležitost jednotlivých časů s ohledem na množství vyráběných kusů/rok.

$$T_e \text{ vážený průměr} = \frac{T_e \text{ čas} * \text{množství kusů/rok}}{\text{Množství kusů/rok}} = \frac{9 * 21479 + 9 * 37573 + \dots}{21479 + 37573 + \dots} = 9,39$$

$$T_g \text{ vážený průměr} = T_e \text{ vážený průměr} * 1,07 = 9,39 * 1,07 = 10,05$$

	kůže VW [min]	kůže Škoda [min]	kůže Seat [min]	Látka VW [min]	Látka Škoda [min]	Látka VW Seat [min]
T <sub>g</sub> - celkový čas	9	9	9	9,43	9,43	9,43
T <sub>e</sub> čas	9,63	9,63	9,63	10,09	10,09	10,09
Množství kusů/rok	21 479	37 573	159	408 095	114 930	31 341
T <sub>g</sub> vážený průměr	9,39			T <sub>e</sub> vážený průměr		10,05

Tabulka 9: Výsledné časy výroby

### 5.2.1 Cíle studie

Cílem studie je návrh a simulace výroby 2425 ks/den loketních opěrek pro zákazníky VW, Seat a Škoda Auto. Doba výroby byla stanovena na 253 pracovních dní, při dvou směnném 7,5 hodinovém provozu.

#### V průběhu práce je důležitý návrh:

- Balancování výroby
- Layout ve 3D (stroje, lidi, dopravníky, regály, boxy)
- Interní logistika
  - Velikost a množství Kanbanových boxů
  - Velikost a množství Kanbanových regálů
  - Velikost a množství Kanbanových vozíků
  - Kanbanové okruhy
- 3D Simulaci navržených variant
- Nejvhodnější řešení

### 5.3 Analýza studie

Výroba jednoho dílu loketní opěrky se skládá z 10 dílčích operací u AR a 3 u PR, které jsou popsány (**Tabulka 8: Postup výroby AR a PR**). Jednotlivé operace mohou

obsahovat takové množství strojů, které uspokojí stanovené požadavky zákazníka (zákaznický takt) pro stanovené množství loketních opěrek. Interní logistika je realizována pomocí materiál handlerů. Výroba je uvažována jako dvousměnný provoz (směna pracuje 7,5 hodin denně).

Cílem je navrhnout a simulací ověřit výrobní systém tak, aby byl splněný zákaznický takt 0,35min. V případě této studie je nutné respektovat tahový systém výroby. Ke ztížení studie náleží výpočet Kanbanových regálů a s tím souvisejícím návrh Kanbanových boxů, vozíků a okruhu ve výrobě. Návrh bude probíhat na základě zákaznického taktu, od kterého je odvozen celý návrh výroby. Následné zhotovení 3D layoutu musí obsahovat veškeré zdroje (lidi, stroje, materiál) včetně interní logistiky (material handler s Kanbanovými vozíky). 3D layout bude vytvořen pomocí nástrojů PTC PRO ENGINEER.

Vlastní simulace bude provedena pomocí simulačního software Tecnomatix Plant Simulation

## 5.4 Návrh množství pracovišť a zásoby ve výrobě

Následujícím krokem návrhu výroby patří stanovení množství zásoby materiálu a komponentů, které slouží pro výrobu loketní opěrky. Postup stanovení množství zásoby ve výrobě bude probíhat od přístřihů, které budou do výroby přiváženy z CNC stříhacího stroje. V (**Tabulka 10: Rozměry přístřihů AR a PR**), dále pak (**Tabulka 11: Odvození množství boxů pro přístřihy AR a PR**) jsou uvedeny rozměry a množství přístřihů loketních opěrek v závislosti na požadavcích zákazníků. Odlišnost varianty lze tedy spatřit převážně v charakteru (látka, kůže, koženka) a tloušťce materiálu. Požadavky zákazníků Seat, VW i Škoda se liší v drobných detailech (velikosti a tvaru použité pěny, přístřihů, barevném spektru komponentů). Rozdíly jsou však natolik malé, že je v našem případě úkol zjednodušen na jednu velikost pěny a přístřihů AR i PR, vyjma zohlednění tloušťky materiálu, která je nutná pro stanovení množství látky vložené do boxu.

Tabulka rozměrů přístřihů AR a PR

Přístřihy	Rozměry			
	Délka[mm]	Šířka[mm]	Hloubka[mm]	Váha[g]
<b>Zadané hodnoty AR</b>				
rozměry kůže	480	240	3	137,6
rozměry kůže škoda	480	240	1	137,6
rozměry látka	480	240	1	137,6
rozměry látka škoda	480	240	3	137,6
rozměry koženka	480	240	1	137,6
<b>Zadané hodnoty PR</b>				
rozměry kůže	280	360	3	36,72
rozměry kůže škoda	280	360	1	36,72
rozměry látka	280	360	1	36,72
rozměry látka škoda	280	360	3	36,72
rozměry koženka	280	360	1	36,72

Tabulka 10: Rozměry přístřihů AR a PR

#### 5.4.1 Návrh velikosti boxů pro přístřihy AR a PR

Zde jsou použity standardizované boxy o rozměrech 800 x 600 x 220 pro AR a 400 x 300 x 200 pro PR, které nejvíce vyhovují prostorovým a ergonomickým požadavkům ve výrobě. S ohledem k velikosti, a tloušťce přístřihů, můžeme uvažovat maximální kapacitu boxu pro AR o rozměrech 800 x 600 x 220 = 100ks látky/koženky (1 mm) a 50 ks látky/kůže (3mm). Stejně množství přístřihů je použito u varianty PR a tedy u boxu 400 x 300 x 200 (**Tabulka 11: Odvození množství boxů pro přístřihy AR a PR**). Hmotnost naplněného boxu pro AR odpovídá maximálně  $100 \times 137.6\text{g} + 3000\text{g (box)} = 16760\text{g}$ . Dále pro PR  $100 \times 36.72 + 2000\text{g} = 4672\text{g}$ .

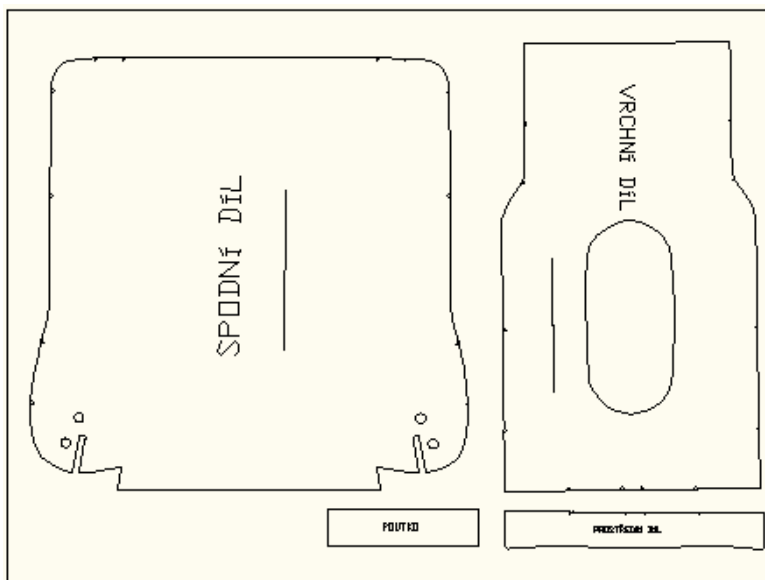
V katalogu ergonomie průmyslového inženýrství je uvedena fyzická zátěž při ruční manipulaci s břemeny průměrné lidské postavy: lze zvedat břemena o maximálních hodnotách do 25kg při častém zvedání a nošení. Předpokladem je pracovní vytížení pod 5% pracovní doby handlera při zvedání boxů a proto, dle ergonomie při manipulační činnosti lze pracovní limit zvýšit až do 50kg. (hodnoty jsou vztaženy pouze k mužským standardům). Množství boxů určené pro AR a PR bylo dále odvozeno z potřeby jednodenní zásoby materiálu ve výrobě.

**Tabulka odvození počtu boxů**

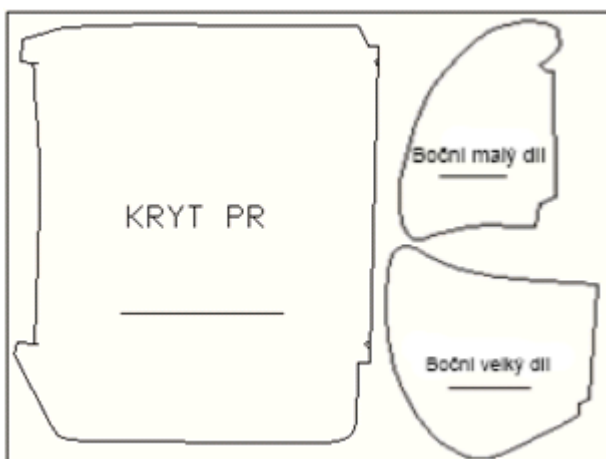
přístřihy AR + PR						
Varianty	Počet 3mm[ks]	Počet 1mm[ks]	Počet 1,7mm[ks]	Počet celkem[ks]	Boxy AR 800*600x220[ks]	Boxy PR 400x300x220[ks]
varianta A[látka]	218			218	6	6
varianta B[látka]	236			236	6	6
varianta C[kůže]			149	149	2	2
přístřihy seat AR + PR						
Varianty	Počet 3mm[ks]	Počet 1mm[ks]	Počet 1,7mm[ks]	Počet[ks]	Boxy AR 800*600[ks]	Boxy PR 400x300x120[ks]
varianta A[látka]			107	107	2	2
varianta B[koženka]			17	17	2	2
varianta C[kůže]			1	1	2	2
přístřihy VW AR + PR						
Varianty	Počet 3mm[ks]	Počet 1mm[ks]	Počet 1,7mm[ks]	Počet[ks]	Boxy AR 800*600[ks]	Boxy PR 400x300[ks]
varianta A[látka]			1613	1613	18	18
varianta B[kůže]			85	85	2	2
Suma	454	1737	234	2425	40	40

**Tabulka 11: Odvození množství boxů pro přístřihy AR a PR**

Uložení přístřihů AR a PR v boxu o rozměrech 800 x 600 x 220 a 400 x 300 x 220 je zobrazeno níže na obrázku (**Obr. 15: Uložení přístřihů AR v boxu 800x600x220** a **Obr. 16: Uložení přístřihu PR v boxu 400x300x220**). Dále jsou zde zobrazeny reálné podoby boxu vybrané z katalogu nakreslené v Pro engineer.

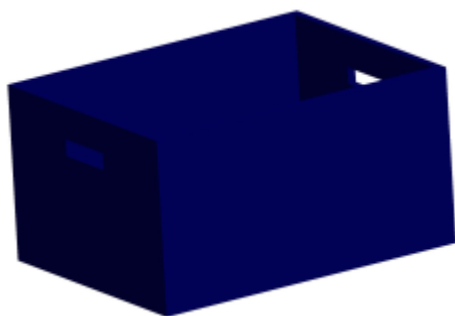


**Obr. 15: Uložení přístřihů AR v boxu 800x600x220**



**Obr. 16: Uložení přístřihu PR v boxu 400x300x220**





Obr 1 Box 800x600x420 v Pro engineer



Obr 2 Box KLT serie (katalog)[3]

**KLT serie**

<b>Aplikace</b>	Box pro manuální i automatickou manipulaci.	
<b>Rozměry(mm)</b>	200x150, 400x300, 600x400,	300x200 400x400 800x600
<b>Materiál</b>	Polypropylen	
<b>Max. hmotnost</b>	20kg, 50kg, 70kg	
<b>Stohovací zatížení</b>	600kg	
<b>Recyklovatelné</b>	Ano	
<b>Ruční manipulace</b>	Ano	
<b>Dopravník</b>	Ano	
<b>Stohovatelný</b>	Ano	
<b>Technologie tlak</b>	Ano	
<b>Technologie tah</b>	Ano	
<b>Technologie zdvih</b>	Ano	

**5.4.2 Návrh velikosti boxů pro komponenty AR a PR**

Další krok návrhu výrobního layoutu spočívá v určení objemu materiálu potřebného k výrobě denní produkce ložkových opěrek, rozměru a počtu boxů. Vycházíme z hodnot spotřeby materiálu na 1 kus výrobku a velikost dodavatelského balení jednotlivých komponentů (**Tabulka 12: Výřez tabulky pro výpočet množství materiálu**). Vypočítaná denní potřeba materiálu ve výrobě, byla dále přeočítaná na počet dodavatelského balení. Velikost a počet boxů byly vypočítány na základě několika faktorů. Prvním z nich bylo

respektování katalogových rozměrů boxů a jejich kapacity, vztažené k množství materiálu v jednom boxu. Dále bylo nutné zohlednit počet nutných boxů ve výrobě. Na základě těchto faktů byly vybrány optimální rozměry a z toho vyplývající počet boxů, které nejvíce vyhovují stanoveným kritériím.

### 5.4.3 Příklady výpočtu komponentů

V této kapitole jsou uvedeny příklady výpočtů množství materiálu ve výrobě, na které se budou následující kapitoly odkazovat.

#### Výpočet zásoby nitě AR

Pro výpočet potřebných nití se vycházelo ze spotřeby na 1 kus výrobku. Tato spotřeba byla stanovena na základě změřené délky stehů sešitého přístřihu a následné přepsání zjištěného rozměru do programu na výpočet spotřeby nití (**Obr. 17: Prostředí programu na výpočet spotřeby nití**).

Stitch type	ISO 4915 DN 61400	Example	Seam Construction	Seam Appearance		Rough Calculation		
				Top	Bottom	Seam Width	Stitches / 10 cm	Thread Consumption
Double locked Stitch		Hem Sewing HSE				40	NT: 1.4 m HT: 1.4 m 2.8 m	50% 50% 100%
Double locked Stitch		Sewing Upper Border TGN			5 mm	40	NT: 2.7 m HT: 2.7 m 5.4 m	50% 50% 100%

Obr. 17: Prostředí programu na výpočet spotřeby nití

Spotřeba na kus: 8,35 m  
 Dodavatelské balení 1500 m  
 Počet kusů výrobku/den 2425ks

$$\text{Hodinová potřeba} = \frac{60}{\text{spotřeba na kus} \cdot \text{čas montáže včetně ztrát } t_e} = \frac{60}{8,35 \cdot 0,35} = 1431,43 \text{ mm}$$

$$\text{Počet nutných pracovišť} = \frac{\text{čas spotřeby 1 pracoviště}}{\text{čas montáže } t_g} = \frac{3,1}{0,31} = \mathbf{10 \text{ pracovišť}}$$

$$\text{Počet potřebných špulek ve výrobě za 4h} = \frac{\text{Hodinová potřeba} \cdot 4}{\text{špulka}} = \frac{1431,43 \cdot 4}{1500} = \mathbf{3,82 \text{ ks}}$$

### Výpočet zásoby Cup holderu

Spotřeba na kus	1 ks
Materiálu v boxu	100 ks
Počet kusů výrobku/den	2425ks

$$\text{Hodinová potřeba} = \frac{60}{\text{spotřeba na kus} \cdot \text{čas montáže včetně ztrát } t_e} = \frac{60}{0,35} = \mathbf{193,55 \text{ ks}}$$

$$\text{Počet nutných pracovišť} = \frac{\text{čas spotřeby 1 pracoviště}}{\text{čas montáže } t_g} = \frac{0,35}{0,35} = \mathbf{1 \text{ pracoviště}}$$

$$\text{Počet potřebných boxů ve výrobě za 4h} = \frac{\text{Hodinová potřeba} \cdot 4}{\text{počet komponentů v boxu}} = \frac{193,55 \cdot 4}{68} = \mathbf{11,39 \text{ ks}}$$

$$\text{Doba spotřeby materiálu v boxech} = \frac{\text{počet komponentů v boxu} \cdot \text{počet boxů ve výrobě za 4h}}{\text{hodinová potřeba}} = \frac{68 \cdot 12}{193,55} = \mathbf{4,22h}$$

#### 5.4.4 Stanovení množství komponentů ve výrobě

Hodnoty uvedené v (Tabulka 12: Výřez tabulky pro výpočet množství materiálu) lze rozdělit do trojího typu.

- 1) Hodnoty známé (rozměry komponentů, čas montáže)
- 2) Hodnoty určené (rozměry boxů, počet komponentů v boxu)
- 3) Hodnoty vypočítané na základě hodnot známých a určených (hodinová potřeba)

Pro určení množství všech komponentů hraje velmi významnou roli čas montáže materiálu včetně ztrát a spotřeby na kus. Rozdílnost můžeme spatřit převážně u komponentů, které se dodávají v podobě špulek tj (nitě, zip, poutko) a tudíž je pro tyto komponenty v některých částech tabulky zvolen jiný způsob stanovení množství.

Materiál			Cup Holder 
Rozměry komponentu	Výška	mm	70
	Šířka	mm	110
	Délka	mm	200
	Množství	ks	1
Spotřeba na kus	AR	ks	1
	PR	ks	
čas montáže t_g	AR	min	0,31
	PR	min	
čas montáže včetně ztrát t_e	AR	min	0,35
	PR	min	
Hodinová potřeba	AR	ks	193,55
	PR	ks	
čas spotřeby 1 pracoviště	AR	min	
	PR	min	0,35
počet nutných pracovišť pro splnění zákaznického taktu	AR	ks	1
	PR	ks	
Velikost boxu	vnější		800x600x320
	vnitřní		754x554x286

Tabulka 12: Výřez tabulky pro výpočet množství materiálu

## 5.5 Balancování výroby

V prvním kroku návrhu výrobní linky byl stanoven zákaznický takt a sled operací výroby loketní opěrky. Následně bylo stanoveno množství zásoby materiálu ve výrobě. Dalším krokem návrhu a realizace výrobního procesu je balancování výroby, tudíž rozložení pracovního výkonu mezi stroje a pracovníky tak, aby postup zakázky výrobním systémem probíhal plynule. Vycházíme tedy ze zákaznického taktu, který musíme společně s nutnými přestávkami ( $t_e$ ) akceptovat, jako maximální hranici pro výrobu. Na základě časů jednotlivých operací byla vytvořena tabulka s rozdělením procesů (AR šití poutka, atd.) a ke každé přiřazen základní čas a počet strojů (**Tabulka 13: Určení množství strojů ve výrobě**). Následující (**Tabulka 14: Rozložení strojů mezi operace**) vizuálně rozpadá jednotlivé časy mezi operátory, dále pak vyjadřuje procentuální rozložení operace mezi pracoviště. Pro splnění zákaznického taktu je tudíž nutné rovnoměrně přerozdělit časy jednotlivých operací mezi pracovníky a stroje (v závislosti na stejném časovém rozvržení produktů, byla vytvořena jedna tabulka rozložení strojů u komponentů Kůže VW, ostatní jsou

analogické).

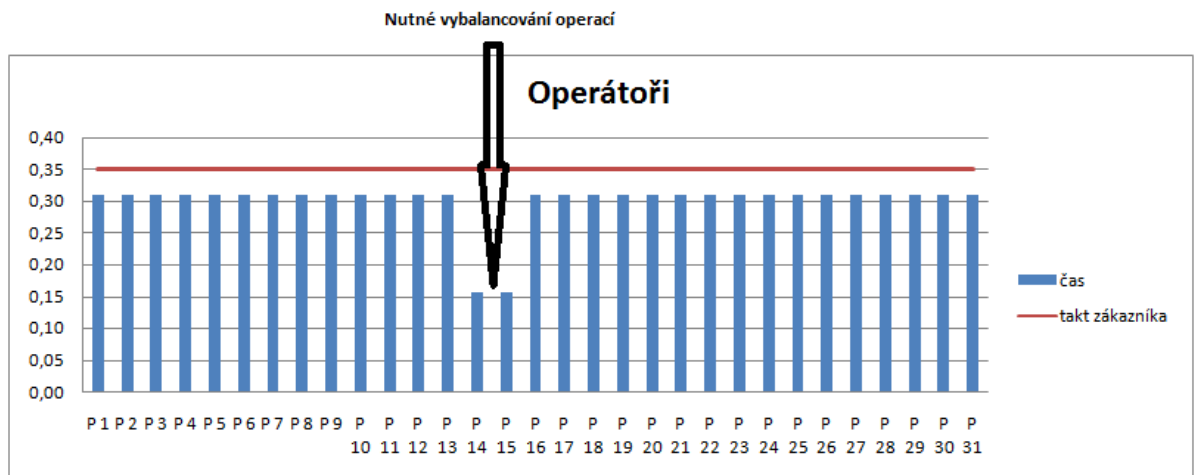
Pozice	Proces	Základní	Základní	Základní	Základní	Základní	Základní	Stroj/operaci
		čas t_g	čas t_g	čas t_g	čas t_g	čas t_g	čas t_g	
		Kůže	Kůže	Kůže	Látka	Látka	Látka	
		VW	Škoda	Seat	VW	Škoda	Seat	
1	Stříhání přístřihů	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1
2	AR šití poutka	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1
3	AR PE band oval	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1
4								
5	AR sešívání 1	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
6	AR sešívání 2	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
7	AR sešívání 3	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
8	AR sešívání 4	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
9	AR sešívání 5	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
10	AR sešívání 6	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
11	AR sešívání 7	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
12	AR sešívání 8	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
13	AR sešívání 9	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
14	AR sešívání 10	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1
15								
16	PR sešívání 1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1
17	PR sešívání 2	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1
18	PR sešívání 3	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1
19	PR lišty	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	1
20	PR lišty	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	1
21								
22	AR polstrování + zapnutí zipu	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1
23	AR kompletace,kontrola balení 1	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
24	AR kompletace,kontrola balení 2	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
25	AR kompletace,kontrola balení 3	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
26	AR kompletace,kontrola balení 4	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
27	AR kompletace,kontrola balení 5	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
28	AR kompletace,kontrola balení 6	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
29	AR kompletace,kontrola balení 7	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1
30	AR kompletace,kontrola balení 8	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	1
31	Nasazení bočního dílu	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1
32	Nasazení Cup holder + trand	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1
33	PR kompletace 1	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1
34	PR kompletace 2	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1
35	PR kompletace 3	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1
36								
37	kontrola, balení	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1

Tabulka 13: Určení množství strojů ve výrobě

Balancování operací Kůže VW																																				
operátor (OP)	Procentuální rozložení operací (%)	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	P 25	P 26	P 27	P 28	P 29	P 30	P 31				
P 1	Náložní prvek	100%	0,31																																	
P 2	AK 50 posilka	100%		0,31																																
P 3	AK sestava 1	10%			0,31																															
P 4	AK sestava 2	10%				0,31																														
P 5	AK sestava 3	10%					0,31																													
P 6	AK sestava 4	10%						0,31																												
P 7	AK sestava 5	10%							0,31																											
P 8	AK sestava 6	10%								0,31																										
P 9	AK sestava 7	10%									0,31																									
P 10	AK sestava 8	10%										0,31																								
P 11	AK sestava 9	10%											0,31																							
P 12	AK sestava 10	10%												0,31																						
P 13	PK sestava 1	10%													0,31																					
P 14	PK sestava 2	10%														0,31																				
P 15	PK sestava 3	10%															0,31																			
P 16	PK káby	10%																0,15																		
P 17	PK káby	10%																	0,15																	
P 18	AK polohovací - zapnutí zpru	100%																		0,31																
P 19	AK kompletace konektů bodová 1	10%																			0,31															
P 20	AK kompletace konektů bodová 2	10%																				0,31														
P 21	AK kompletace konektů bodová 3	10%																					0,31													
P 22	AK kompletace konektů bodová 4	10%																						0,31												
P 23	AK kompletace konektů bodová 5	10%																							0,31											
P 24	AK kompletace konektů bodová 6	10%																								0,31										
P 25	AK kompletace konektů bodová 7	10%																									0,31									
P 26	AK kompletace konektů bodová 8	10%																										0,31								
P 27	Náložní prvek	100%																																		
P 28	Náložní prvek	100%																																		
P 29	PK kompletace 1	10%																																		
P 30	PK kompletace 2	10%																																		
P 31	PK kompletace 3	10%																																		
P 32	koncová bodová	100%																																		

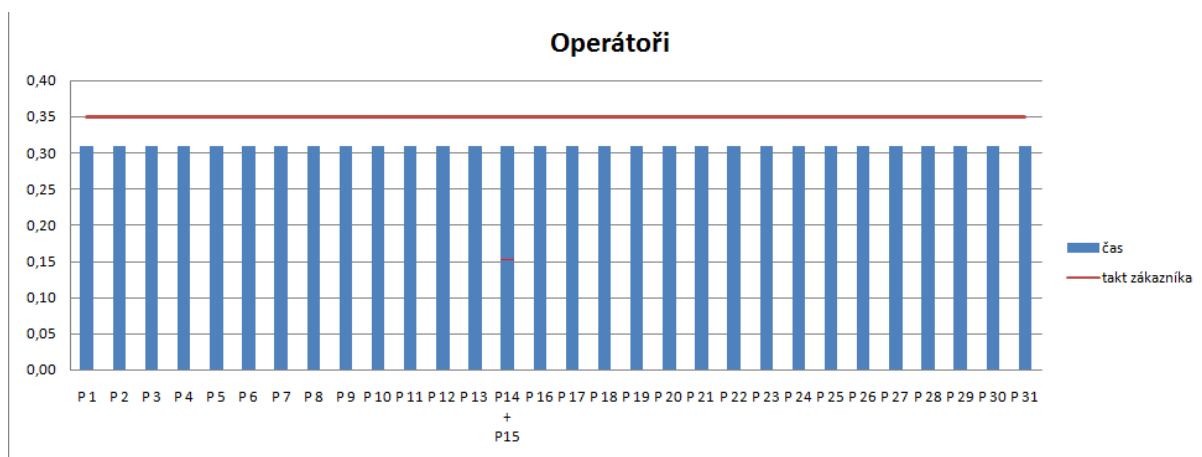
Tabulka 14: Rozložení strojů mezi operace

Ve sloupcovém grafu (**Graf 3: Rozložení operátorů**) je stanovena časová závislost vůči počtu operací, které jsou vykonávány jedním nebo více operátory (stroji). Jak je z grafu viditelné, výroba je rozprostřena rovnoměrně s taktém výroby 0,31min, a tedy při přičtení 7% jako ztrátovou rezervu je podmínka zákaznického taktu 0,35min splněna.



Graf 3: Rozložení operátorů

V (**Graf 3: Rozložení operátorů**) je patrná nutnost vybalancování operací číslo 14 a 15, které jsou vykonávány na jednom pracovišti a z technologického hlediska na sebe plynule navazují (**Graf 4: Balancování operátorů**).



Graf 4: Balancování operátorů

## 5.6 Návrh Kanbanových regálů

Velikost Kanbanových regálů vychází z velikosti a množství zásoby materiálu, tedy boxů. Zásoba materiálu byla stanovena managementem firmy BOS na jeden den, vyjma komponentů Cup holder, Treager a raste, jejichž zásoba byla stanovena na 1/2 dne. Tato výjimka pramení z množství komponentů, které by při denní zásobě zabíralo velké množství prostoru výrobní linky.

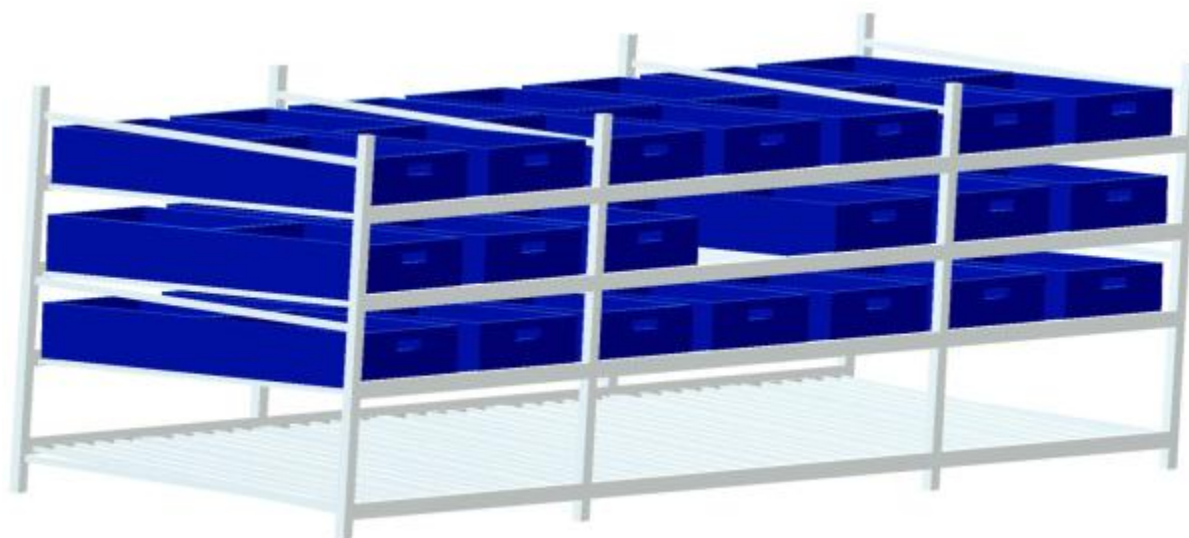
### 5.6.1 Návrh Kanbanových regálů pro přístřihy AR a PR

Velikost regálu se odvíjí od velikosti a množství boxů, do kterých jsou ukládány přístřihy. Množství a velikost boxů pro AR a PR byly stanoveny a popsány (Přílohy). Pro přístřihy AR byly navrženy boxy o rozměrech 800 x 600 x 220 o 40 ks. Z těchto hodnot byl navržen regál o rozměrech viz. (Tabulka 15: Hodnoty regálu). Nákres regálu byl dále zpracován v programu Pro engineer (Obr. 18: Kanbanový regál pro přístřihy AR).

velikost navrženého kanbanového regálu pro Přístřihy AR

VELIKOST KANBANOVĚHO REGÁLU PRO Přístřihy AR				
Výška[mm]	Šířka[mm]	Hloubka[mm]	Sloupce[ks]	Skluz[%]
1600	5180	1680	14	3

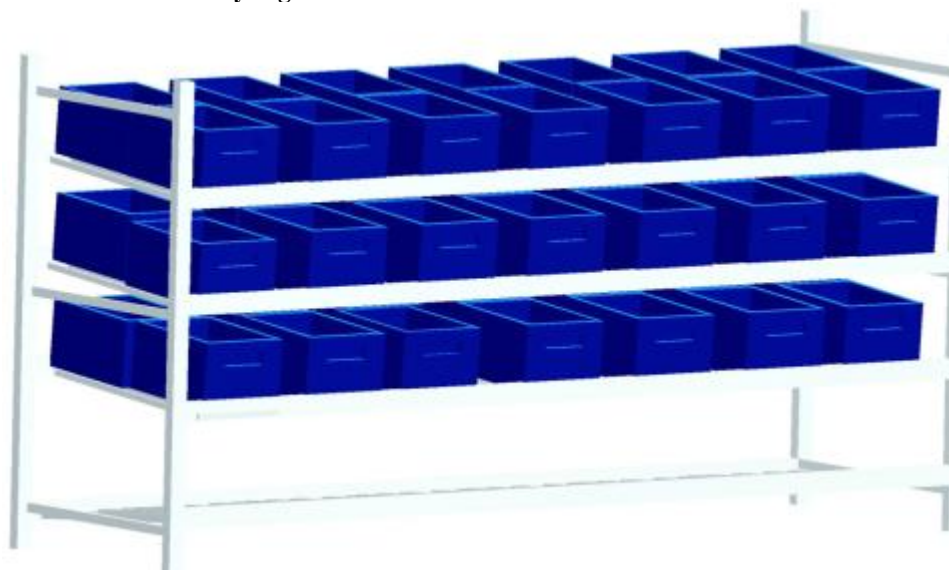
Tabulka 15: Hodnoty regálu AR



Obr. 18: Kanbanový regál pro přístřihy AR

VELIKOST KANBANOVĚHO REGÁLU PRO Přístřihy PR				
Výška[mm]	Šířka[mm]	Hloubka[mm]	Sloupce[ks]	Skluz[%]
1600	3160	880	14	3

Tabulka 16: Hodnoty regálu PR



Obr. 19: Kanbanový regál pro přístřihy PR

## 5.6.2 Návrh Kanbanových vozíků a okruhů

### Návrh Kanbanových vozíků

Rozměry a nosnost Kanbanových vozíků jsou vztaženy k velikosti a váze naplněných boxů ve výrobě.

Pro stanovení jejich rozměrů bylo určeno množství materiálu (boxů), které bude během



4 hodin spotřebováno. Dále se vycházelo z katalogových rozměrů vozíků, byl vybrán 1 typ vozíků s rozměry 1500 x 600 x 1640 (**Obr. 20: Kanbanový vozík[3]**).



**Obr. 20: Kanbanový vozík[3]**

#### **Série - LKE – KLT – EURO- Etage[3]**

Maximální rychlost	6km/h
Maximální tažná hmotnost	2000kg
Maximální užitečná hmotnost	500kg
Maximální zatížení na polici	100kg
Maximální zatížení s bočním vyztužením	150kg

#### **Návrh Kanbanových okruhů**

Při realizaci Kanbanových okruhů je nutné znát dobu spotřeby materiálu za hodinu/směnu. (určena viz. příloha), kapacitu zpětných skluzů v Kanbanových regálech a velikost Kanbanových vozíků. Snahou je určit takový čas zásobování výroby, který bude vyhovovat kapacitě zásob ve výrobě společně s náročností převážení a skládání boxů do regálů (z regálů).




S ohledem na náročnost tématu se tato práce problematikou interní logistiky dále nezabývá a uvádí zde pouze základní tezi návrhu Kanbanových vozíků, který byl vybrán na základě konzultace s vedením firmy BOS Automotive a návrhu Kanbanových okruhů.

## 6 Prostorové navržení layoutu

S vytváření nového layoutu souvisí dodržení nutných zásad pro jeho tvorbu. Určením přesně stanovených cílů počínaje rozpočtové hladiny, ergonomii, úspor využitých ploch, krátkých transportů mezi pracovišti a dalšími. Je třeba sledovat nejen úspornost celého pracoviště, ale i množství koexistujících faktorů, které ovlivňují jeho návrh. Při vytváření návrhu výrobního layoutu je tedy užíváno kompromisního řešení mezi dílčími požadavky, které mohou být vůči sobě v rozporu.

V průřezu této kapitoly jsou uvedeny popisy jednotlivých návrhů výrobních layoutů MQBx37 včetně zobrazení materiálových toků. Na konci jsou dílčí varianty porovnány v multikriteriální tabulce, na jejímž základě je vybrána optimální varianta pro realizaci.

Na 2D zobrazení navržených layoutů je naznačen postup materiálového toku červenou šipkou, zásobování pracoviště modrou šipkou a odchod materiálu z výrobní linky šipkou žlutou. Jednotlivá pracoviště jsou číselně označena pro určení jejich výrobních kroků.

Legenda:		Postup materiálu až do zhotovení loketní opěrky
		Postup zásobování pracoviště
		Odchod materiálu z výrobní linky

### 6.1 Materiálový tok a popis operací linky MQBx37 – Varianta A

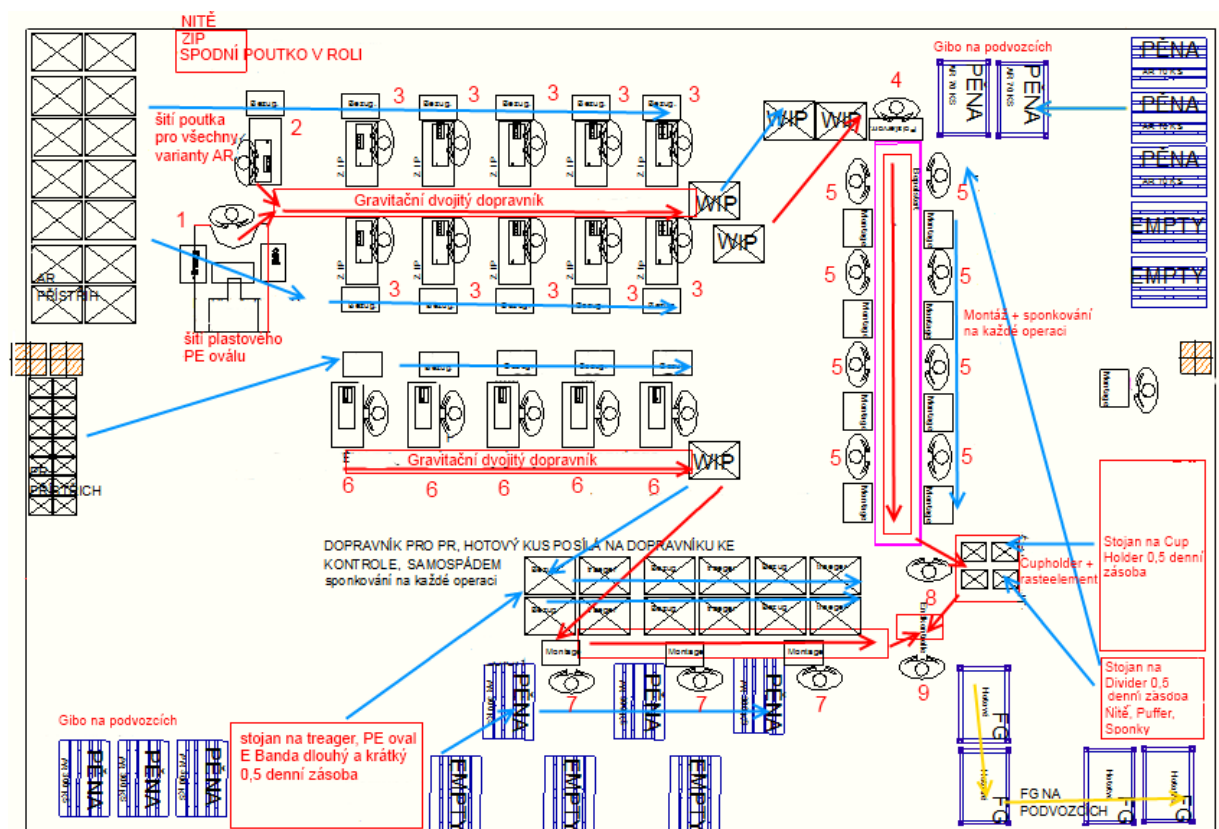
Tato varianta zohledňuje plynulost zásobování z Kanbanových regálů s jednodenní, nebo půldenní zásobou materiálu. Toho by se mělo dosáhnout umístěním regálů s požadovaným materiálem v blízkosti daných pracovišť. Plynulost toku materiálu výrobou je zajištěna návazností výrobních kroků s aplikací gravitačních (výrobní krok č.3, 6 a 7)/motorových(výrobní krok č.5) pásů. Pro úplnost popisu výroby je postup jednotlivých operací v layoutu naznačen červenými šipkami (**Obr. 21: Materiálový tok výrobní linky MQBx37 varianta A**).

Výroba loketní opěrky začíná u komponentu AR operacemi 1 a 2 probíhajícími paralelně. Obě pracoviště vkládají rozpracovanou výrobu na spodní část gravitačního pásu v taku 0,31min současně. Operátoři výrobního kroku 3 sešijí potah dohromady a vkládají na vrchní část pásu. Hotové potahy padají do boxu WIP a po naplnění (100ks) jsou přenášeny

na operaci 4. Připravené pěny jsou potaženy sešitými potahy a následně vloženy na spodní část motorového pásu. Operátoři výrobního kroku č. 5 loketní opěrku kompletují s použitím sponek. Po kompletaci jsou loketní opěrky vloženy na vrchní část gravitačního pásu.

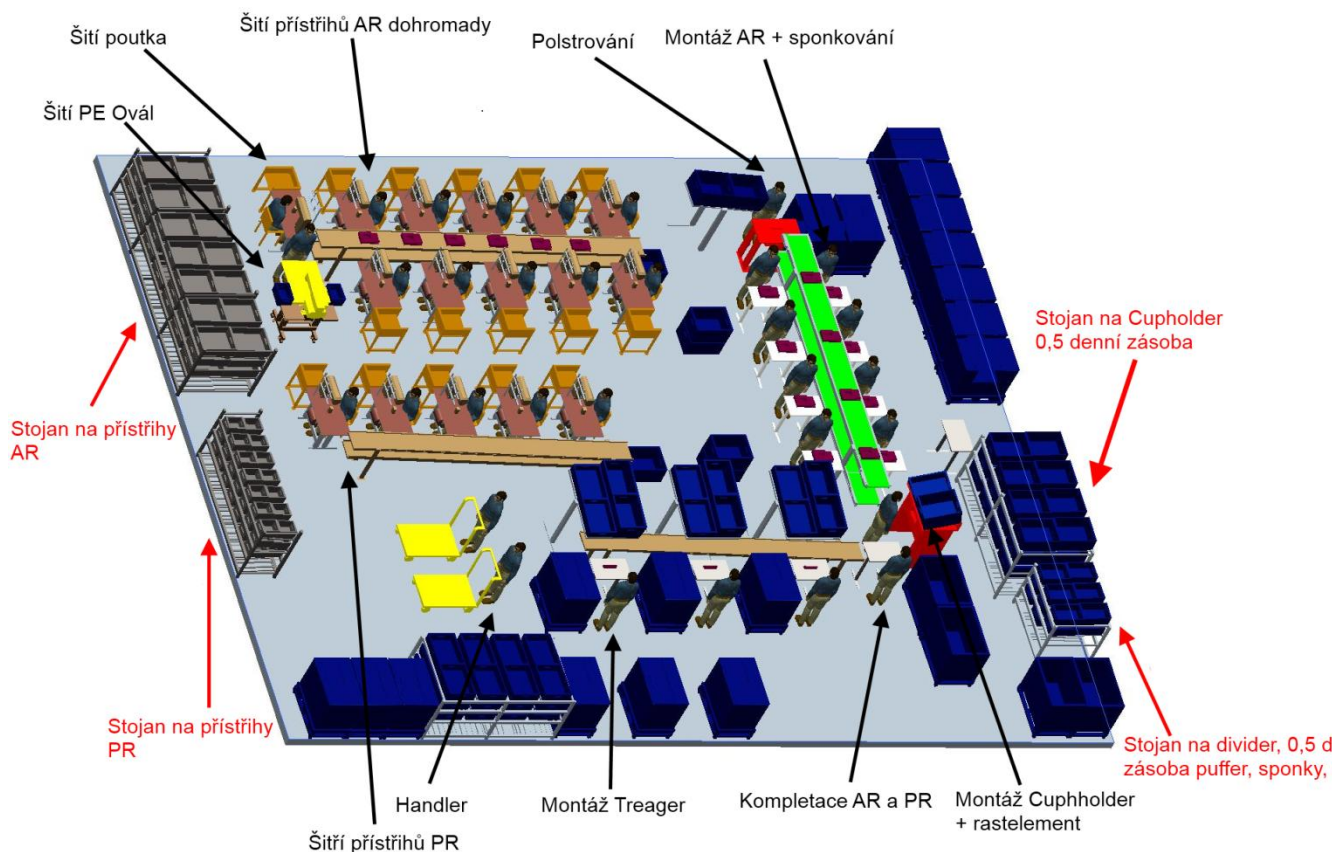
U následující Operace č. 8 jsou vloženy komponenty Cupholder a Rasteelement a následně jsou zalisovány boční gumičky. Z výrobního layoutu (**Obr. 21: Materiálový tok výrobní linky MQBx37 varianta A**) je dále patrná návaznost mezi operacemi 7 a 8.

Druhá část výroby loketní opěrky PR začíná operací č. 6. Zde dochází ke kompletaci celého potahu PR, který následně padá do připraveného boxu WIP. Následující operace provádí potažení a montáž pěnového komponentu AR s Treagerem. Poslední operace číslo 9 kompletuje a kontroluje oba dva kusy výrobku loketní opěrka s vložením do připraveného boxu. Nevýhodou této varianty je nutnost častého zásobování pracovišť z Kanbanových regálů a tudíž plné zapojení Handlerů ve výrobě. Další pak spočívá v přenášení rozpracované výroby mezi operacemi 3 – 4 a 6 – 7.



Obr. 21: Materiálový tok výrobní linky MQBx37 varianta A

V 3D variantě výrobního layoutu MQBx37 varianta A lze lépe spatřit popis jednotlivých pracovišť i materiálů v zásobovacích kanbanových regálech. Dále je zde více patrné přidavné pracoviště pro nasazení gumy a přípravy na automatické lisování, které probíhá v 8 výrobním kroku (Montáž Cupholderu a rasteelement).



Obr. 22: 3D layout výrobní linky MQBx37 varianta A

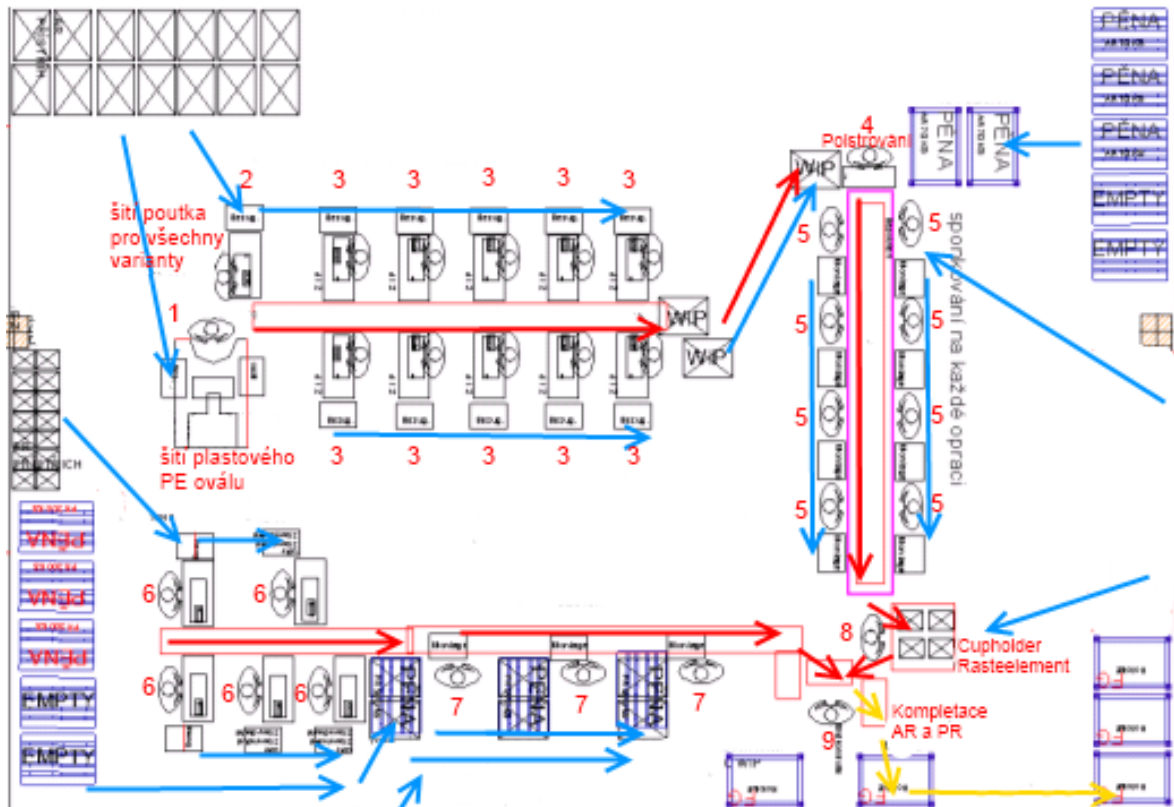
## 6.2 Materiálový tok a popis operací linky MQBx37 – Varianta B

Druhá z navrhovaných variant odstraňuje předešlé problémy s častým zásobováním pracoviště zásluhou přemístěním většiny komponentů (zrušením Kanbanových regálů) do Supermarketu. Výhodou je zvýšení přehlednosti, dostupnosti pracoviště při jeho zásobování a snížení celkové zabrané plochy.

Další výhodou této varianty je 4 hodinová zásoba veškerých komponentů ve výrobě a tudíž využití Handlerů s předem určenými časy zásobování pracoviště. Modré šipky dále ukazují zásobování pracoviště pouze s Kanbanovými regály pro zásobu AR a PR. Postup výroby zobrazen červenými šipkami je téměř totožný s variantou A s výjimkou eliminace přenášení boxů mezi operacemi 6 a 7, která je nyní vyřešena plynulou návazností dvojitých motorových dopravních pásů.

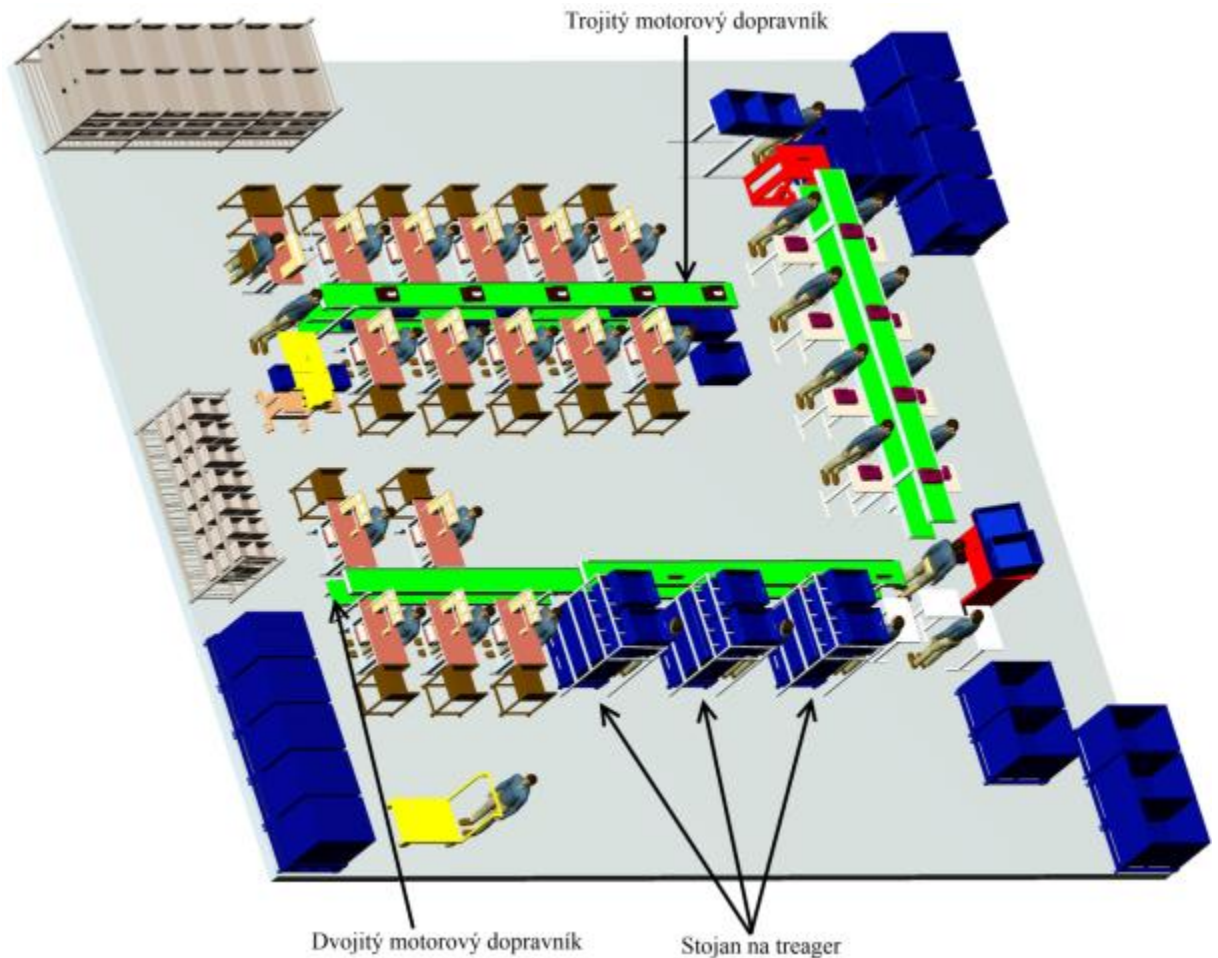
Pro snadnější postup výroby byly gravitační dopravníky u operace č. 3 nahrazeny trojitými motorovými dopravníky, kde jsou hotové výrobky vkládány na vrchní dopravní pás. Rozpracovaná výroba s poutky a PE oválem je vložena z operace č 1 a 2 po 50 kusech do boxu a následně vložena na prostřední dopravní pás.

Nakonec spodní část dopravníku slouží pro prázdné boxy, které putují zpět na začátek výroby. Přídavná operace nasazení gumiček byla přestěhována ke vstřikolisům. Nevýhodou této varianty jsou 4hodinové zásoby ve výrobě, které mohou při neadekvátně označeném umístění překážet. Dále pak velká finanční náročnost výrobní linky v případě aplikace motorových dopravních pásů.



Obr. 23: Materiálový tok výrobní linky MQBx37 varianta B

V 3D layoutu (Obr. 24: 3D layout výrobní linky MQBx37 varianta B) jsou zobrazeny motorové dopravníky u operace č. 3 a 6. Pro efektivní využití zabraného místa jsou v layoutu aplikovány regály pro komponenty Treager, pod nimiž jsou vloženy boxy s pěnou k PR části loketní opěrky. Oproti předcházející variantě je dosaženo podstatné snížení využitého prostoru a zlepšení průchodnosti materiálového toku.

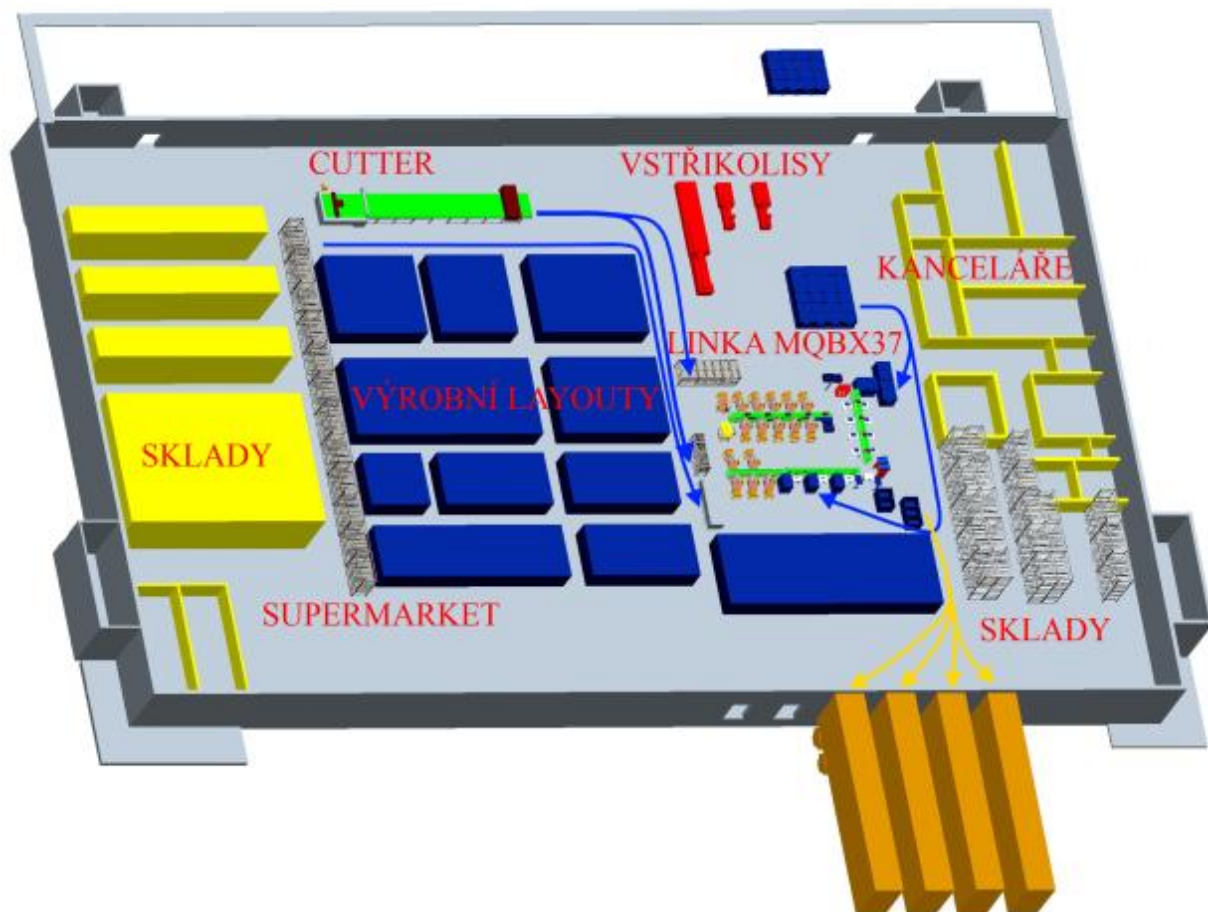


Obr. 24: 3D layout výrobní linky MQBx37 varianta B

Layout níže (Obr. 25: 3D layout výrobní haly BOS Automotive zásobování) ukazuje celkové rozložení přízemní výrobní haly společnosti BOS Automotive s popisky důležitých částí. V layoutu jsou modrými šipkami zobrazeny zásobovací trasy k výrobní lince MQBx37 varianta B. Supermarket obsazen komponenty Cupholder, Rasteelement, Divider a dalšími, funguje jako zásobovací zdroj výrobních linek, který prostřednictvím Handlerů (ve stanovené časy) realizuje navážení materiálu do výrobní linky. CNC stříhací stroj (Cutter) sloužící pro řezání přístřihů AR a PR, zajišťující jednodenní zásobu materiálu v Kanbanových regálech (viz. modré šipky od Cutteru).

Poslední částí zásobování jsou pěny, které jsou přiváženy kamionem k zadní části haly, a následně zpracovány. Od Vstřikolisů jsou pěny naváženy do výrobní linky MQBx37.

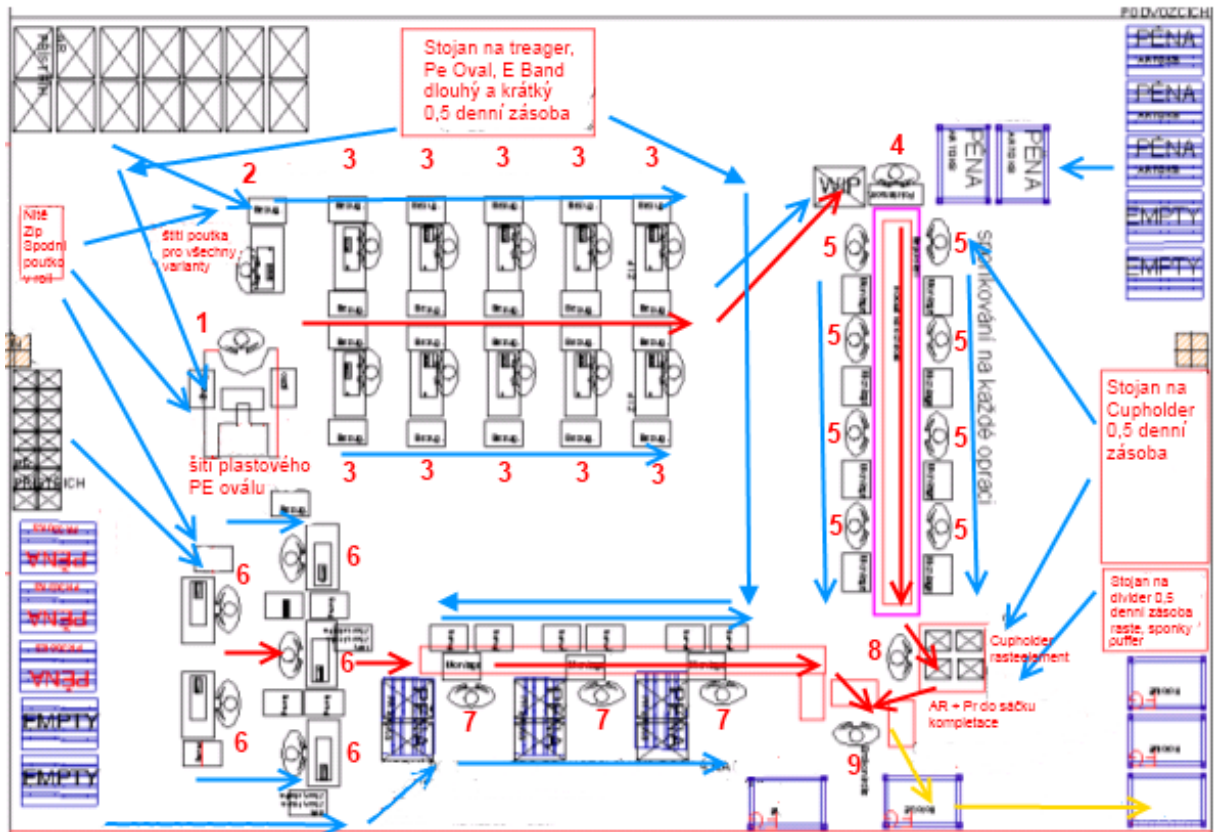
Žlutými šipkami jsou znázorněny cesty hotových výrobků do připravených kamionů. V obrázku haly je dále uvedeno umístění kanceláří pro mistry výroby, rozložení stávajících výrobních layoutů a pozice skladů pro zásobování pracovišť. Po stranách přední části haly jsou znázorněny vstupy komplexu firmy BOS Automotive.



Obr. 25: 3D layout výrobní haly BOS Automotive zásobování

### 6.3 Materiálový tok a popis operací linky MQBx37 – Varianta C

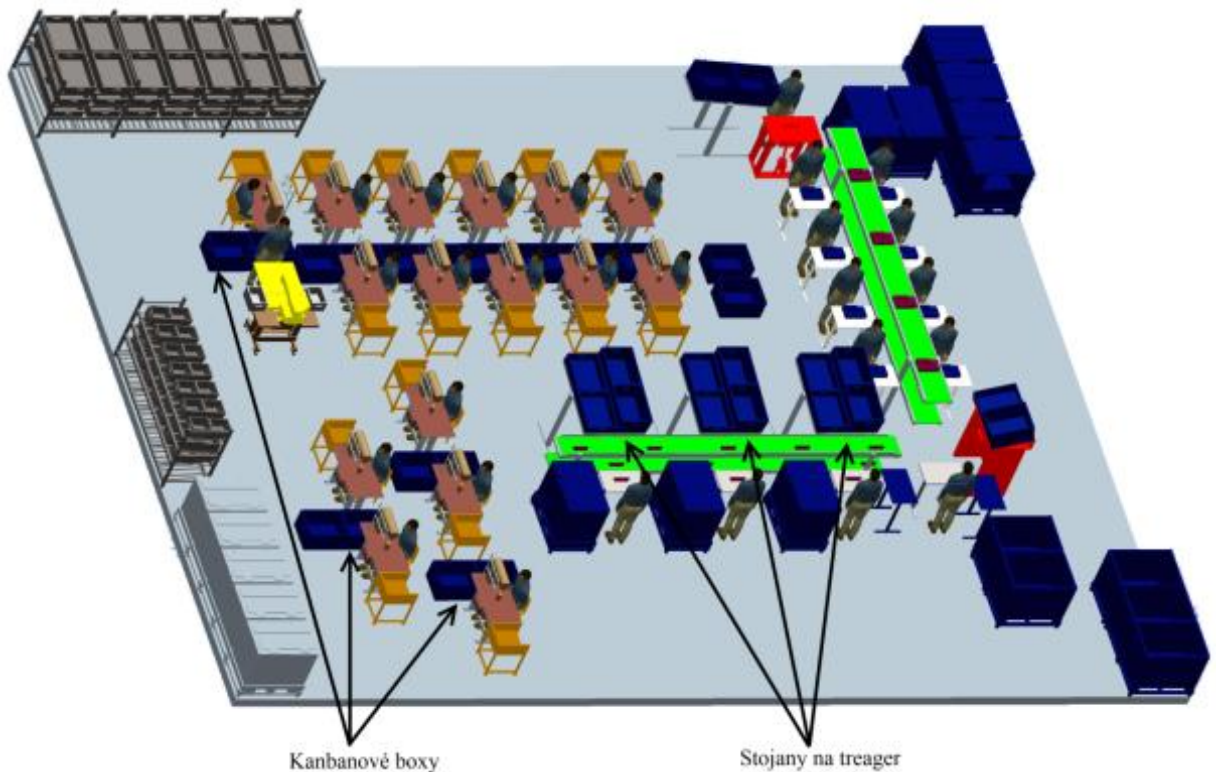
Další z navrhovaných variant aplikuje u části výrobního systému stávající zaběhlý výrobní systém. Vedle každého pracoviště u operací č. 1, 2, 3 a 6 jsou obsaženy 2 prázdné boxy na pojízdných konstrukcích. Rozpracovaná výroba se vkládá do boxů a ručně posouvá k dalšímu pracovišti podle směru červené šipky (Obr. 26: Materiálový tok výrobní linky MQBx37 varianta C). Po naplnění boxu požadovaným počtem rozpracované výroby jsou boxy přeneseny k dalšímu pracovišti (4 a 7). V této variantě se opět nachází Kanbanové regály. Postup materiálového toku je plynulý (operace 6 – 7) stejně jako u předešlé varianty s výhodou absence drahých motorových dopravníků.



Obr. 26: Materiálový tok výrobní linky MQBx37 varianta C

Ve 3D layoutu výrobní linky varianty C jsou popsány nově navržené stojany pro Treager, které ve stojanu budou ukládány vedle sponek. V layoutu je dále patrné 2boxové uspořádání výroby, tj. u každého pracoviště jsou 2 boxy s přístřihy, do kterých je vkládána vyhotovená rozpracovaná výroba a posouvána k dalšímu pracovišti. Nevýhodu pak můžeme definovat v podobě vyšších požadavků na zabranou plochu a sníženou přehlednost ve výrobě.





Obr. 27: 3D layout výrobní linky MQBx37 varianta C

## 6.4 Zhodnocení návrhů

Jednotlivé varianty byly hodnoceny na základě konzultace s vedením společnosti BOS Automotive. V multikriteriální tabulce (**Tabulka 17: Rozhodovací tabulka**) bylo určeno několik kritérií hodnotících navrhované varianty. Následné bodové ohodnocení jednotlivých kritérií probíhalo na základě důležitosti pro realizaci výrobní linky. Po zhodnocení variant v rozhodovací tabulce a výslednému bodovému ohodnocení vyšla nejlépe varianta B. Navržený simulační model tedy vycházel z konceptu varianty B a tudíž i jeho nastavení (například rychlost motorových dopravníků, maximální počet rozpracované výroby v boxu atd.) předpokládá skutečné nastavení pro realizaci systému.

Kriteria	Rozměr	Váha	Varianty					
			A		B		C	
Bilance Plochy	[m]	12	88,750 12,000	1,000	71,700 14,854	1,238	70,800 15,042	1,254
Trasy mezy operacemy	[m]	10	34,000 10,000	1,000	28,000 12,143	1,214	30,000 11,333	1,133
Úroveň hluku	Db	10	90 11,111	1,111	100 10	1,000	95 10,526	1,053
Tok materiálu	%	12	60 8,000	0,667	90 12,000	1,000	80 10,667	0,889
Realizace	%	12	65 8,966	0,747	85 11,724	0,97701	87 12	1,000
Náklady	[Kč]	8	250 11,200	1,4	350 8,000	1,000	320 8,750	1,09375
Potenciál dalšího využití	%	10	100 10,000	1,000	100 10,000	1,000	100 10,000	1,000
Kvalita	%	14	100 14,000	1,000	100 14,000	1,000	100 14,000	1,000
Návaznost (toků, hnízd)	%	12	85 10,737	0,895	95 12,000	1,000	90 11,368	0,947
<b>Celkem</b>		100	96,013		104,721		103,687	
Pořadí			3		1		2	

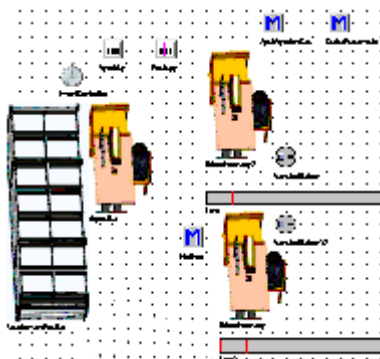
Tabulka 17: Rozhodovací tabulka

## 7 Simulace linky MQBx37

V této kapitole jsou uvedeny nejdůležitější metody a nastavení simulačního modelu, které jsou zobrazeny a popsány chronologicky od založení výrobku po jeho ukončení.

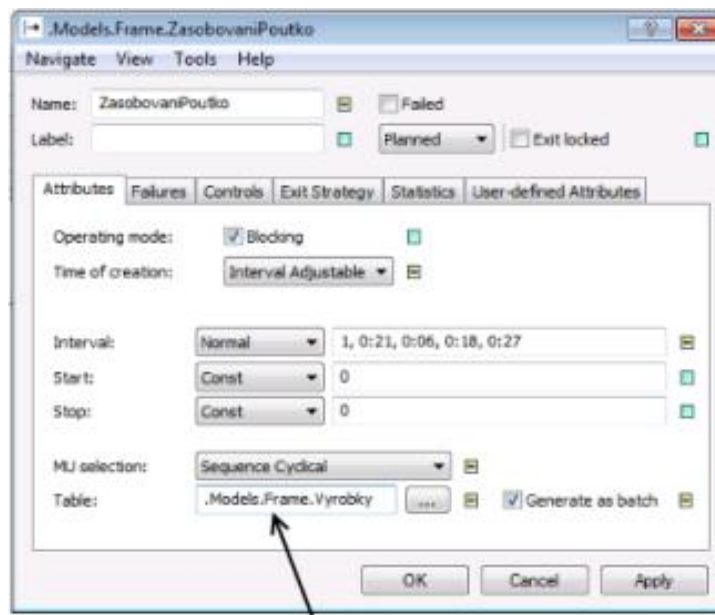
### 7.1 Vznik výrobku

<b>Source</b>	Vstup materiálu do výroby
<b>Line</b>	Pásový dopravník (cesta pro výrobky)
<b>Table Výrobky</b>	Poměr vstupů loketních opěrek
<b>Table Postupy</b>	Výrobní postupy jednotlivých výrobků



Obr. 28: Detail vzniku výrobku

Materiál je vytvářen v objektu source (Kanbanový regál) na základě požadavků z výroby, přičemž je v objektu source vložena tabulka Výrobky, která generuje požadovaný typ entity do výroby (**Obr. 29: Nastavení objektu Source**).



Vložení tabulky Výrobky

Obr. 29: Nastavení objektu Source

Entita z objektu source přechází k prvnímu pracovišti, kde bylo nutné nastavit čas vykonání pracovní operace (zjednodušujícím prvkem simulace bylo namísto 2 paralelně pracujících stanovišť se shodnými časy vloženo jedno). Pro eliminaci časového nastavení v jednotlivých objektech samostatně, byla vytvořena metoda, která u každého pracoviště zjistí požadovaný výrobní čas z tabulky.

### Metoda ZjistíVyrobníCas:

-- typ návratové hodnoty - metoda je definována jako funkce

:time

-- funkce vrátí výrobní čas podle definovaného technologického postupu

is

-- deklarace promenných

```
Vyrobek    :string;
WorkPlan   :table;
VyrobníPostup :table;
Stanice    :Object;
CisloOperace :integer;
PrumCas    :real;
cas        :time;
Odchylka   :real;
```

```
casPom      :real;

do

  -- znak @ slouzi pro ziskani odkazu na entitu, která zavolala tuto metodu
  -- jmeno výrobku
  Vyrobek    := @.name;
  -- kolikaty vyrobni krok se ma nacist
  CisloOperace := @.VyrobniKrok;
  -- z jakeho objektu je metoda zavolana
  Stanice     := ?;
  --nacte tabulku výrobního postupu
  VyrobniPostup := root.Postupy["Postup", Vyrobek];
  --kolikátý výrobní krok se má načíst
  if Stanice = .Models.Frame.Sitipoutka then
    CisloOperace := 1;
  elseif Stanice = .Models.Frame.Sitidohromady then
    CisloOperace := 2;
  .
  .
end;

-- prochazi tabulku výrobního postupu – sloupec VyrobniCasDistribution
inspect VyrobniPostup["VyrobniCasDistribution", CisloOperace]
--pokud zjistí norm rozdělení – vykoná se
when "NORM" then
  --nactou se jednotlivé parametry
  PrumCas := VyrobniPostup["PrumCas",CisloOperace];
  Odchylka := VyrobniPostup["Odchylka",CisloOperace];
  --vygeneruje číslo podle norm rozdělení a převede jej na čas
  casPom := z_normal(1,PrumCas,Odchylka);
  -- kontrola na nezapornost cisla
  if casPom > 0 then
    cas := num_to_time(casPom);
  else
    cas := num_to_time(PrumCas*0.1);
```

```
end;
  result := cas; --funkce vraci získany cas
end;
end;
```

### Nastavení metody ZjistíVyrobníCas:

Níže na (**Obr. 30: Nastavení metody ZjistíVyrobníCas**) je ukázán postup nastavení výrobního času u dílčích pracovišť. V každém výrobním objektu (Singleproc) je políčko „Processing time,“ nastaveno na hodnotu Formula, která zajišťuje možnost vkládání metody ZjistíVyrobníCas. Následujícím krokem vytvoření tabulky s definovanými výrobními časy a odchylkami, umožníme metodě, která je zavolána při vstupu entity na pracoviště, zjistit výrobní čas z tabulky Postupy.

The screenshot shows a configuration window for a workstation named 'Sitidohromady2'. The 'Processing time' is set to 'Formula' and points to the method '.Models.Frame.ZjistíVyrobníCas'. Other parameters like 'Set-up time', 'Recovery time', and 'Cycle time' are set to 'Const' with a value of 0. An arrow points from the text 'Nastavení metody v objektu, která vrátí výrobní čas' to the method name in the 'Processing time' field.

ring	Pracoviste	VyrobníCasDistribution	PrumCas	Odchylka
1	.Models.Frame.Sitipoutka	NORM	18.00	2.00
2	.Models.Frame.Sitidohromady	NORM	180.00	12.00
3	.Models.Frame.Polstrovani	NORM	18.00	3.00
4	.Models.Frame.kompletace1	NORM	118.00	6.00
5	.Models.Frame.CupHolder	NORM	18.00	3.00

An arrow points from the text 'Tabulku s definovanými časy dílčích pracovišť' to the table above.

**Obr. 30: Nastavení metody ZjistíVyrobníCas**

Rozpracovaný výrobek dále přechází na motorový dopravník, který zásobuje po obou stranách postavená pracoviště. Nastavení pěti senzorů (**Obr. 31: Tabulky nastavení senzorů**), které byly vloženy na úroveň místa odběru rozpracované výroby pracovišť je zajištěno metodou, která přenese entitu (jenž tuto metodu zavolala) na pozici pracoviště.

**Metoda Přesun:**

```
--definuje senzor
```

```
(sensorID : integer)
```

```
is
```

```
do
```

```
-- zjistí jméno entity, která tuto metodu zavolala
```

```
@.name;
```

```
-- pokud je pracovní místo Sitidohromady2 volné
```

```
if .Models.Frame.Sitidohromady2.empty then
```

```
-- presuneme entitu na pracovni misto
```

```
@.move(.Models.Frame.Sitidohromady2);
```

```
elseif
```

```
-- jinak zjišťujeme jestli je volné pracovní místo sitidohromady
```

```
.Models.Frame.Sitidohromady.empty then
```

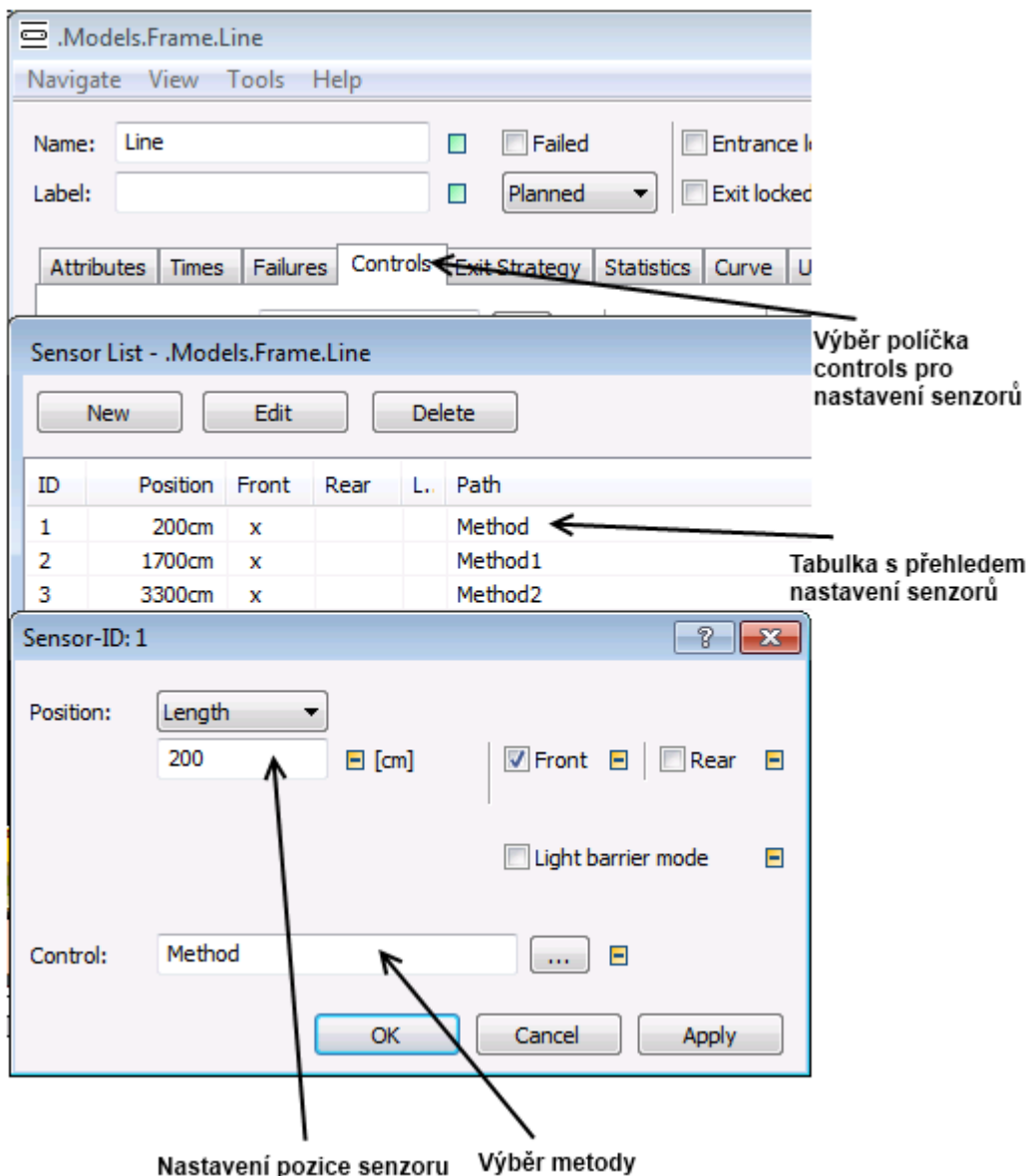
```
@.move(.Models.Frame.Sitidohromady);
```

```
else
```

```
--pokud jsou obě pracoviště plná, tak nedělá nic
```

```
end;
```

```
end;
```



Obr. 31: Tabulky nastavení senzorů

V případě, kdy jsou pracoviště zaplněná, je potřeba zastavit pás aby rozpracovaná výroba nepadala z motorového dopravníku. Proto byla k metodě Přenes doprogramována část, která v případě vytížení pracovišť zastaví pás.

### Metoda přenes2:

else

--v případě kdy jsou pracoviště plná, zastaví pás

.Models.Frame.Line.stopped := true;

waituntil not

--dokud není splněná podmínka, čeká

(.Models.Frame.Sitidohromady9.Full AND .Models.Frame.Sitidohromady10.Full) prio 1;



--přenesení entitu na pracoviště

```
@.move(.Models.Frame.Sitidohromady9);
```

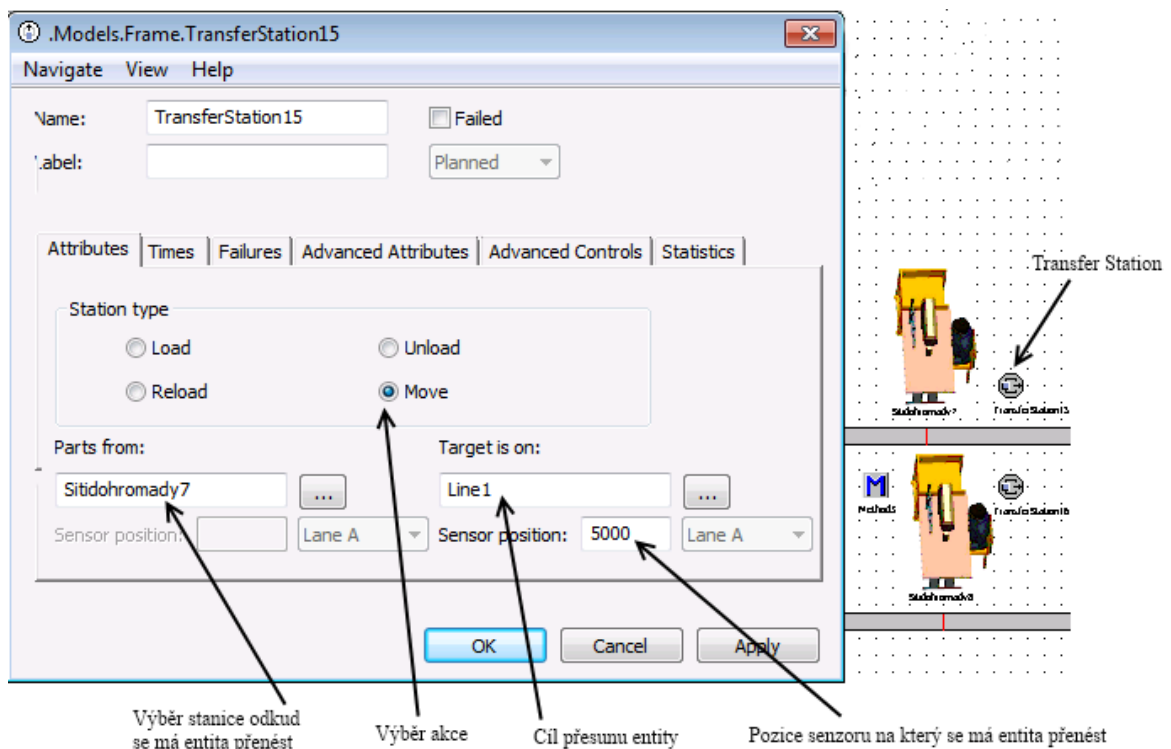
--rozjede dopravní pás

```
.Models.Frame.Line.stopped := false;
```

```
end;
```

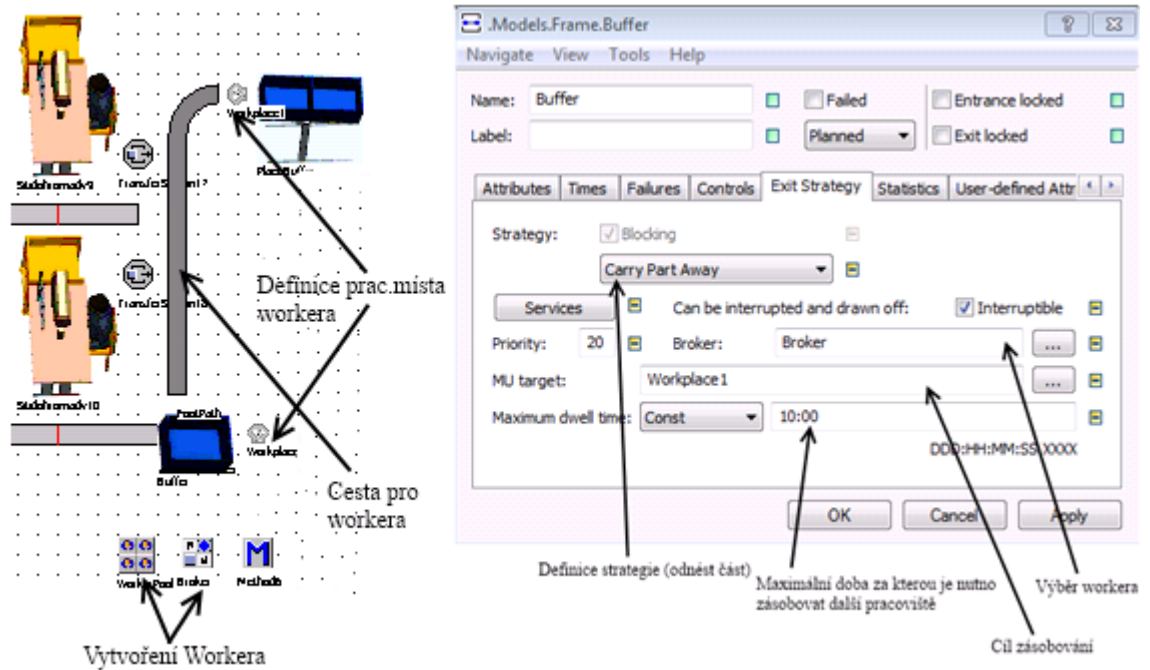
```
end;
```

Pracoviště druhého výrobního kroku ŠitíDohromady pokládají rozpracovanou výrobu dále na vrchní motorový dopravník (reprezentovaný motorovým dopravníkem po pravé straně pracovníků, ve směru postupu výroby). Odkládání rozpracované výroby je realizováno pomocí objektu Transfer Station, která odstraňuje potřebu programování nové metody.



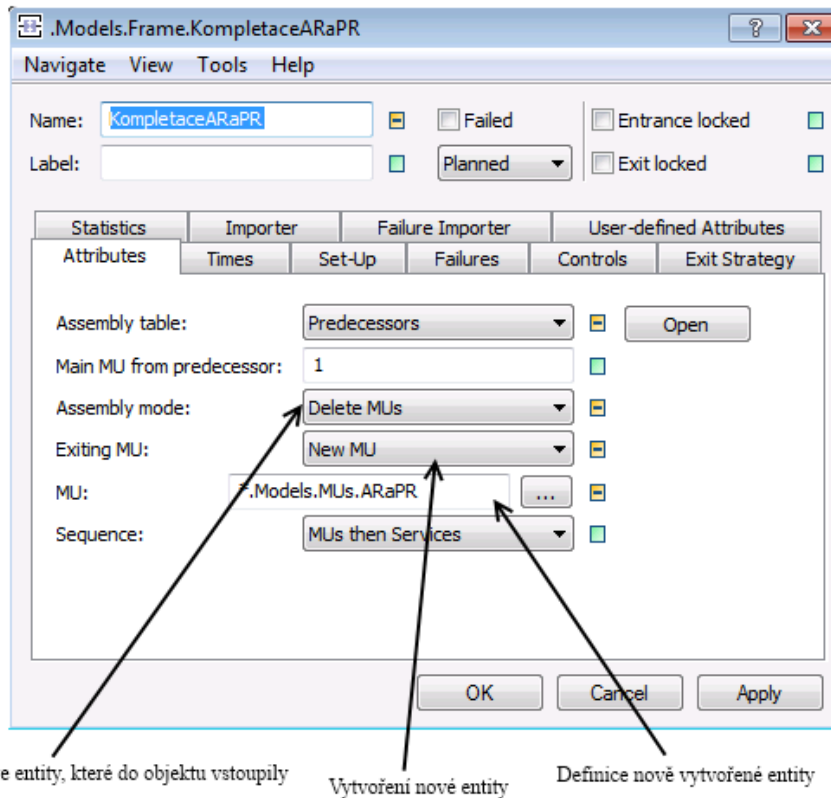
**Obr. 32: Nastavení objektu Transfer Station**

Rozpracovaná výroba následně padá do připraveného Kanbanového boxu, který lze naplnit maximální kapacitou 50 přístřihů. Po dosažení stanoveného objemu jsou přístřihy přenášeny Handlerem na pracoviště polstrování.



Obr. 33: Vytvoření Workera

Pracoviště kompletace jsou nastaveny analogicky s pracovišti SitiDohromady, SitiPR a Treager. Tuto skutečnost potvrzuje i zobrazený simulační model v kapitole (7). Poslední fáze výroby je konečná kompletace, která je v simulačním modelu realizována pomocí objektu Assembly, který je nastaven tak, aby na základě příchozích komponentů AR a PR vytvořila jeden komplet. Tudíž jsou výše zmíněné komponenty smazány a nahrazeny nově vytvořenou entitou ARaPR. Ta je uložena v objektu Drain (reprezentovaný boxy), kde je počítáno celkové množství vyrobených produktů.



Vymaže entity, které do objektu vstoupily

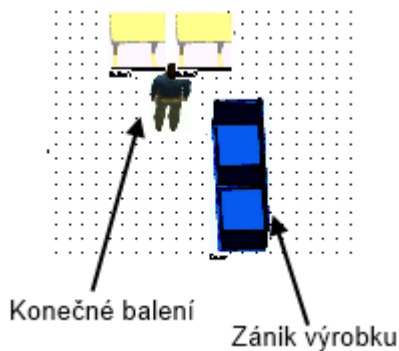
Vytvoření nové entity

Definice nově vytvořené entity

**Obr. 34: Nastavení modelu assembly**

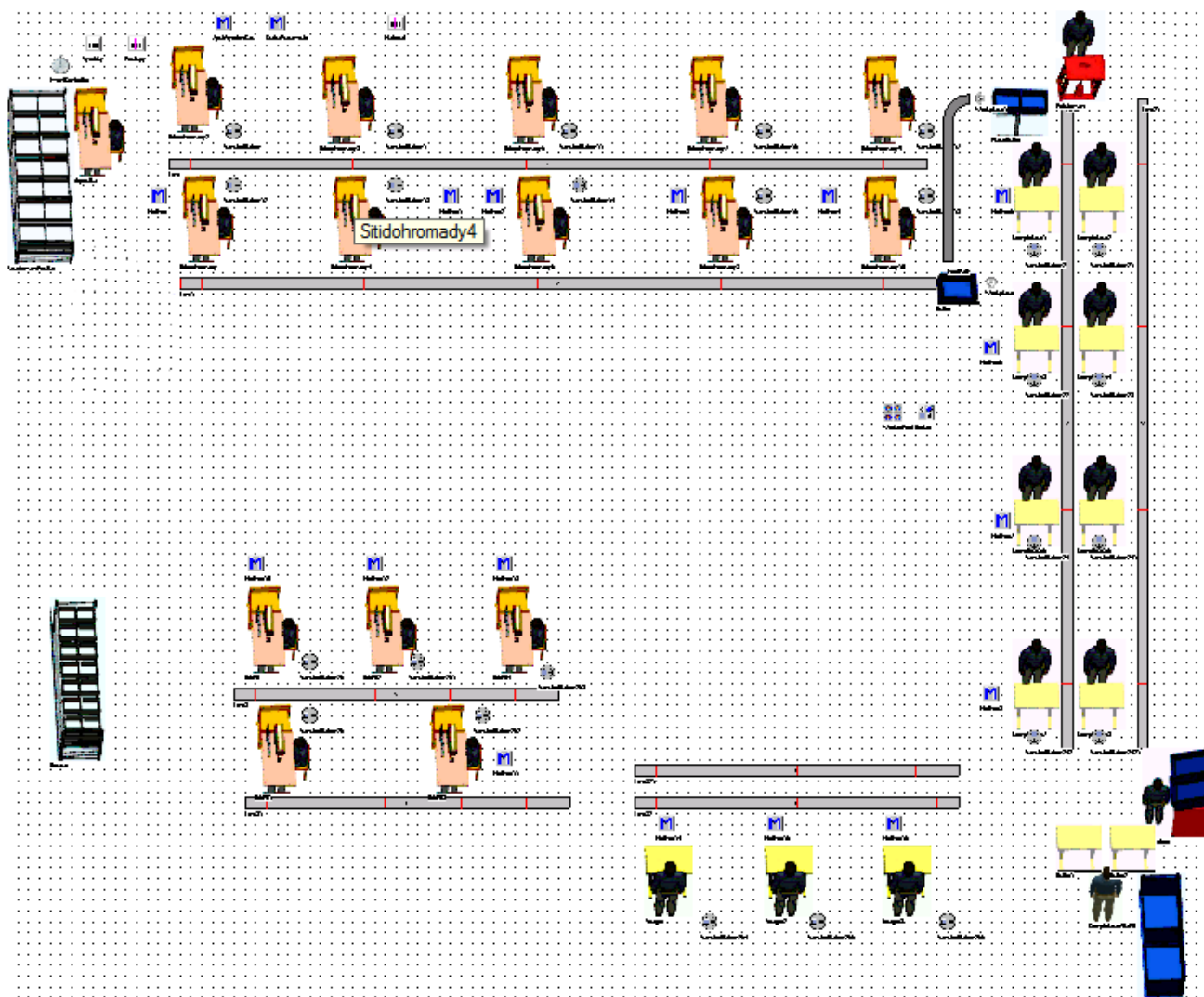
### 7.1.1 Zánik výrobku

Obrázek (**Obr. 35: Zánik výrobku**) znázorňuje postup zániku výrobku. Z pracoviště kompletace ARaPR jsou obě části loketní opěrky vkládány společně do boxu. V simulačním modelu je následně vyobrazena statistika počtu hotových výrobků.



**Obr. 35: Zánik výrobku**

## 7.2 Simulační model



Obr. 36: Simulační model výrobní linky MQBx37

## 7.3 Simulační experimenty

Po nastavení celého simulačního modelu a ověření správnosti konceptuálního i simulačního modelu (verifikace, validace) následuje experimentální část. V této kapitole bude popsáno několik simulačních experimentů, které ověří chování modelu při různých nastavených parametrech. Výsledek pak zobrazuje například využití pracoviště při snížení (zvýšení) výrobního kroku, úzká místa ve výrobě, nebo počet vyrobených produktů při poloviční kapacitě operátorů ve výrobě.

**Simulační běhy budou probíhat 15 hodin reálného času, tudíž dvě po sobě následující směny.**

### 7.3.1 Přehled experimentů

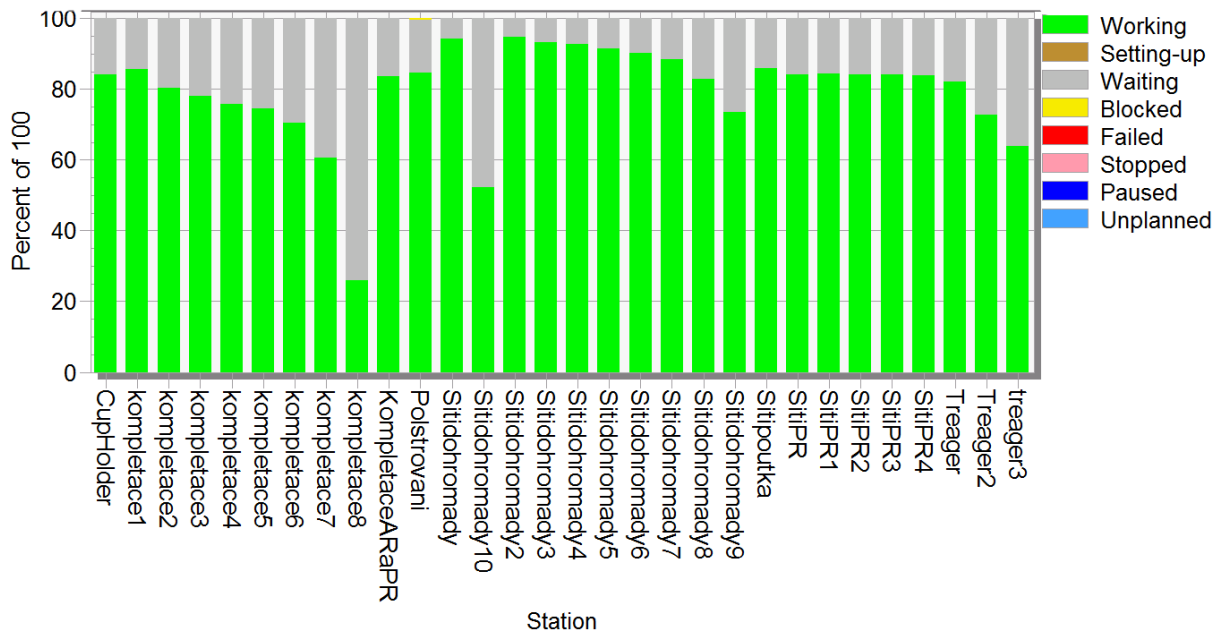
- Splnění požadavků výroby na počet produktů při 2 směnném provozu
  - Vytížení pracovišť
  - Počet hotových výrobků
  - Úzká místa
- Efekt změny vstupních parametrů na vytížení pracovišť
- Efekt změny počtu operátorů na počet produktů
- Efekt změny rychlosti motorových dopravníků na vytížení pracovišť

**Před vlastní simulací bylo nastaveno několik parametrů:**

- **Parametry, které se u jednotlivých experimentů mění**
  - Interval zásobování
  - Rychlost motorových dopravníků
  - Počet pracovníků/pracovišť
- **Parametry, které se u jednotlivých experimentů nemění**
  - Časy operací
  - Typy statistik

### 7.3.2 Experiment číslo 1

Tento experiment si klade za cíl ověřit splnění požadavku denní produkce loketních opěrek. Denní produkce by měla činit minimálně 2425 ks loketních opěrek při 2 směnném, 8 hodinovém provozu. Nastavení časů dílčích pracovišť odpovídá výpočtům z kapitoly 5. Nutností byla specifikace intervalu zásobování pracoviště z Kanbanových regálů. Ta byla zvolena jako konstantní hodnota (předpokládáme plynulost dodávek zásob). Mezi další faktor ovlivňující nastavení výrobní linky patřilo nastavení rychlosti motorových dopravníků. Z několika pilotních běhů simulace byla stanovena rychlost dopravníků na hodnotu 0,4 m/s. Počet strojů a pracovníků je zvolen také na základě výpočtů z kapitoly 4. V případě přenášení rozpracované výroby mezi pracovištěm Šitídohromady a Polstrování se vycházelo z maximální kapacity boxu pro přístřihy AR a časů spotřeby materiálu u Polstrování. Proto byla zvolena maximální hodnota čekání pracovníka na přenos materiálu 10 minut, aby nedocházelo k prostoji na dalším pracovišti a tudíž zpoždování výroby.



Graf 5: Vytížení pracoviště - základním nastavení

Resource Statistics - Drain Statistics											
Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted											
Object	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Mean Life Time	Mean Exit Time	Total Throughput	Throughput per Hour	Throughput per Day
Drain	85.00%	0.00%	15.00%	0.00%	0.00%	0.00%	21.1760	21.0439	2507	167.13333	4011.2

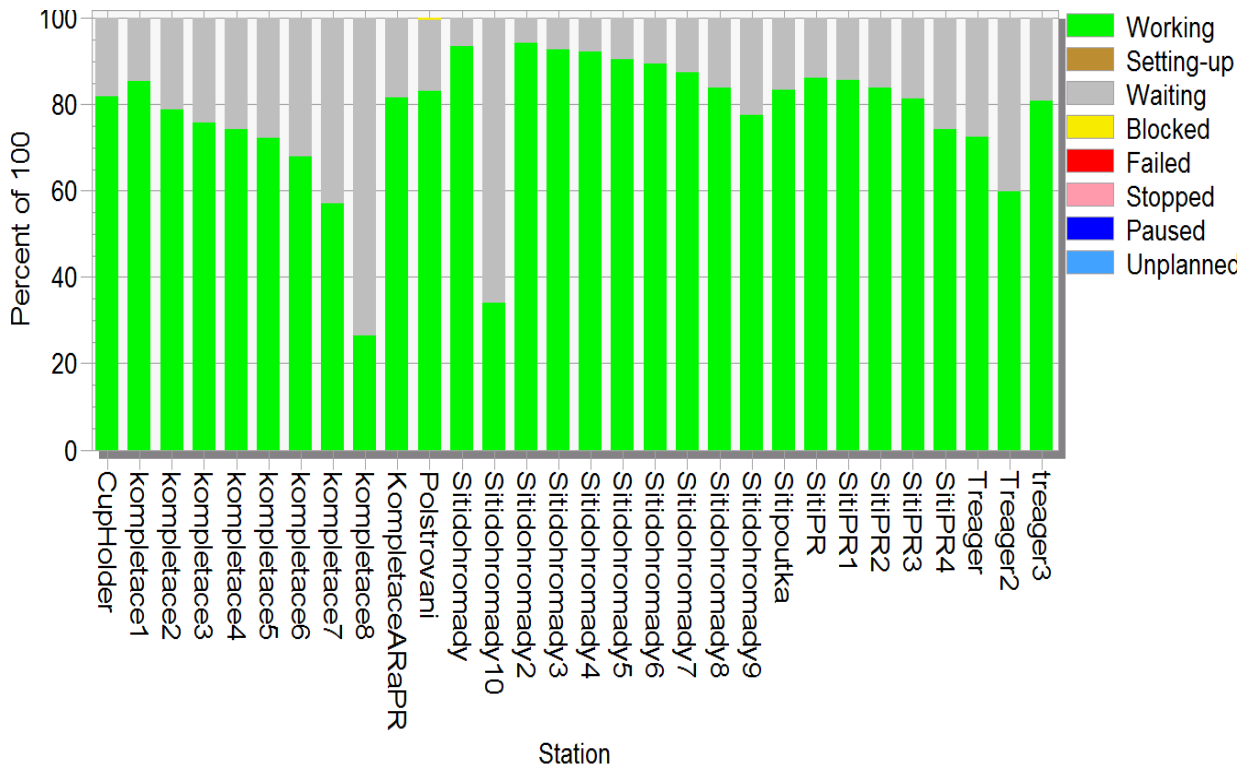
Part Types which the Drains Deleted		
Object	All Types	ARaPR
Drain	2507	2507

Tabulka 18: Výstupní statistika hotových výrobků experiment 1

V grafu (**Graf 5: Vytížení pracoviště - základním nastavení**) lze vidět vytížení jednotlivých pracovišť, které odpovídá maximální vytíženosti pracovních pozic. Při takto nastaveném modelu lze předpokládat plynulost výroby. Minimální hodnota blokace je znázorněna u sloupce Polstrování, je způsobena okamžitým zvýšením zásoby přístřihů na pracovišti. V případě tabulky (**Tabulka 18: Výstupní statistika hotových výrobků**) je zřejmé, že dvě směny vyprodukovaly 2507 výrobků. Tato skutečnost nám demonstruje splnění požadavků vyrobených produktů/den na výrobní linku.

### 7.3.3 Experiment číslo 2

V experimentu číslo 2 je snaha zjistit, jaký vliv má změna intenzity vstupů materiálu do výroby na chování modelu. Poměr vstupů entit je nastaven jako nekonstantní hodnota s rozptylem 10%.



Graf 6: Vytížení pracovišť - změna intenzity vstupů

### Resource Statistics - Drain Statistics

#### Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Object	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Mean Life Time	Mean Exit Time	Total Throughput	Throughput per Hour	Throughput per Day
Drain	78.63%	0.00%	21.37%	0.00%	0.00%	0.00%	22.8914	22.7486	2318	154.53333	3708.8

#### Part Types which the Drains Deleted

Object	All Types	ARaPR
Drain	2318	2318

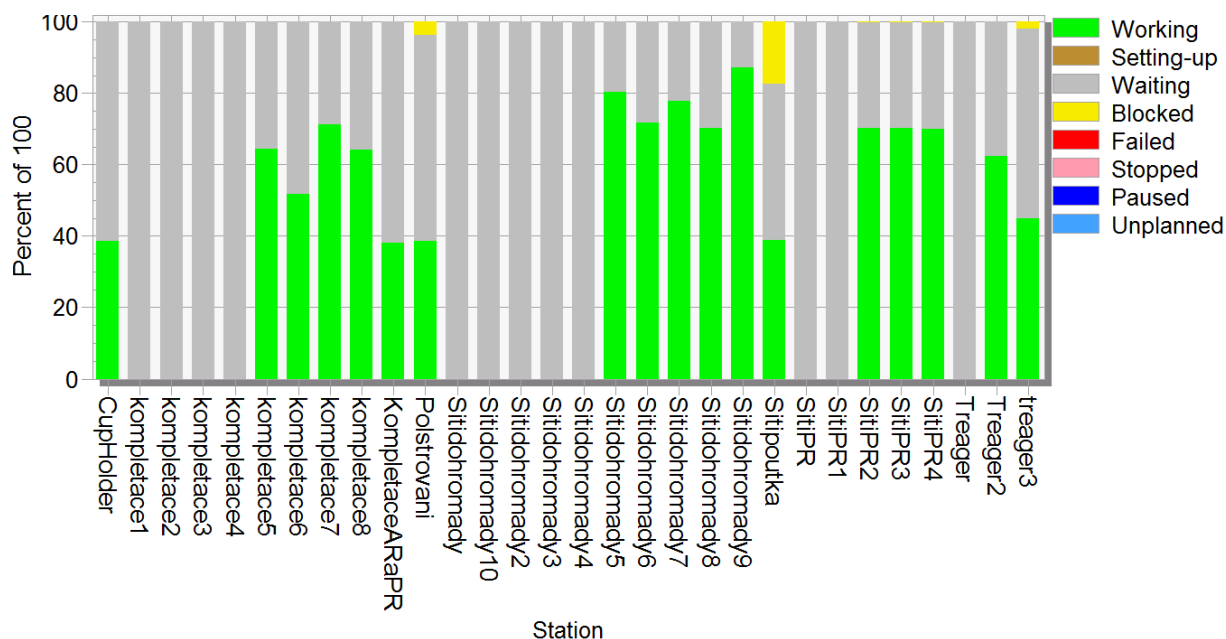
Tabulka 19: Výstupní statistika hotových výrobků experiment 2

Z výstupních hodnot vyplývá, že při nerovnovážném zásobování výrobního systému, dochází ke snížení průměrné hodnoty vyrobených produktů/hodinu, a tudíž k celkovému nesplnění požadované kapacity denní produkce (**Tabulka 19: Výstupní statistika hotových výrobků experiment**). Graf (**Graf 6: Vytížení pracovišť - změna intenzity vstupů**) vypovídá o podobnosti zatížení pracovišť stejně, jako u předchozího experimentu. Avšak nerovnoměrné zásobování způsobuje občasné výkyvy v produktivitě operátorů a tudíž zastavování motorových dopravníků (vlivem snímače, který zamezuje padání rozpracované výroby z pásu při zaneprázdněnosti operátorů).

### 7.3.4 Experiment číslo 3

Je zaměřen na velikost produkce při omezeném počtu operátorů ve výrobě. Tímto

experimentem je snaha zjistit, jaké produktivity výrobní linka dosáhne při polovičním množství operátorů. Nastavená intenzita vstupujících entit byla zvýšena na dvojnásobek při konstantním rozložení vstupních hodnot. U jednotlivých pásů byla nastavena různá hodnota aktivních senzorů, tím je dosažena změna počtu pracujících operátorů ve výrobě. V (Graf 7: Vytížení pracovišť - Změna počtu operátorů) je graficky znázorněn počet aktivních operátorů ve výrobě.



Graf 7: Vytížení pracovišť - Změna počtu operátorů

Resource Statistics - Drain Statistics											
Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted											
Object	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Mean Life Time	Mean Exit Time	Total Throughput	Throughput per Hour	Throughput per Day
Drain	38.80%	0.00%	61.20%	0.00%	0.00%	0.00%	46.3904	46.0312	1143	76.2	1828.8

Part Types which the Drains Deleted		
Object	All Types	ARaPR
Drain	1143	1143

Tabulka 20: Výstupní statistika hotových výrobků experiment 3

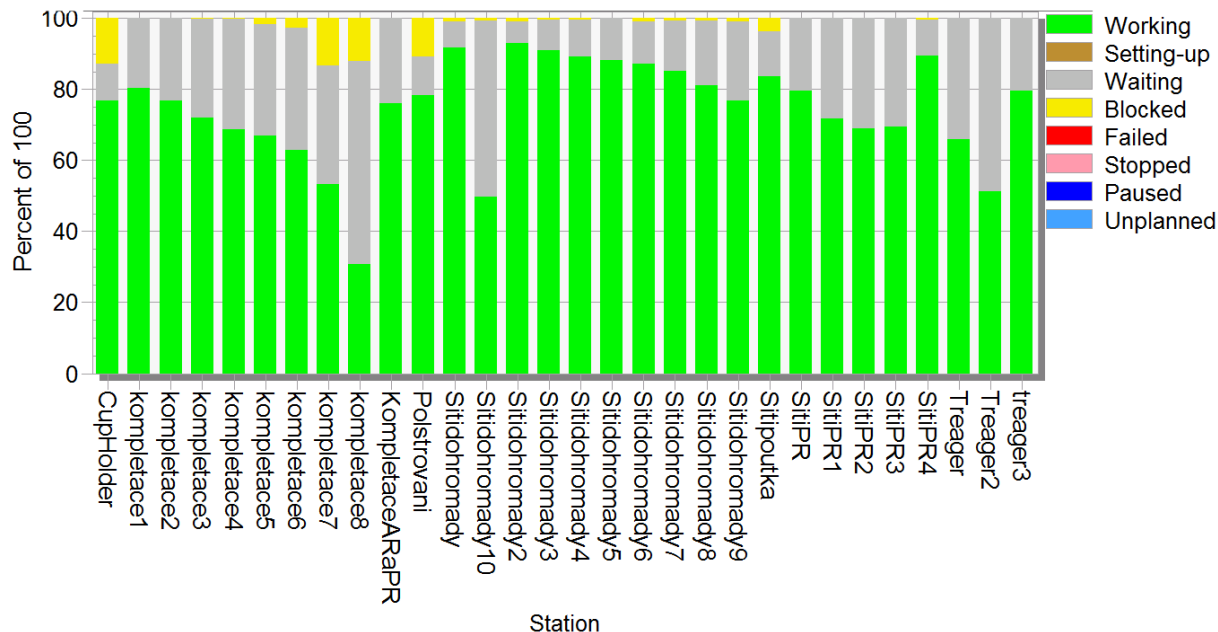
V případě takového nastavení bylo zatížení jednotlivých operátorů v rozsahu 40–80%. Zvýšená hodnota blokace u pracoviště SitiPoutka, Polstrovaní a Treager2 byla způsobena poloviční hodnotou vstupujících entit do systému, při stejné rychlosti operací (běžně u pracoviště Polstrovaní a SitiPoutka 1 pracovník při plné kapacitě operátorů ve výrobě, nyní pouze poloviční kapacita). Počet hotových výrobků v systému (Tabulka 20: Výstupní statistika hotových výrobků experiment 3) byl 1143. Z výstupu lze říci, že množství



vyrobených kusů při poloviční kapacitě bylo nižší, než polovina požadované denní kapacity.

### 7.3.5 Experiment číslo 4

Z experimentu číslo 4 bylo snahou zjistit chování systému v případě zvýšení rychlosti dopravních pásů z hodnoty 0,4m/s na hodnotu 1m/s. Ostatní nastavení zůstává stejné, jako u experimentu č. 1.



Graf 8: Vytížení pracovišť - změna rychlosti motorových dopravníků

Resource Statistics - Drain Statistics											
Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted											
Object	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Mean Life Time	Mean Exit Time	Total Throughput	Throughput per Hour	Throughput per Day
Drain	90.17%	0.00%	9.83%	0.00%	0.00%	0.00%	19.9631	23.1784	2278	151.86667	3644.8

Part Types which the Drains Deleted		
Object	All Types	ARaPR
Drain	2278	2278

Tabulka 21: Výstupní statistika hotových výrobků experiment 4

Grafické výstupní hodnoty (**Graf 8: Vytížení pracovišť - změna rychlosti motorových dopravníků**) ukazují, že v případě zrychlení dopravních pásů dochází k zahlcení celého systému a tudíž k jeho blokaci (při naplnění bufferů maximální kapacitou, dochází k hromadění výrobků na pásech). Zahlcení výroby odráží i množství hotových výrobků (**Tabulka 21: Výstupní statistika hotových výrobků experiment 4**), jehož hodnota činí 2278ks a tedy nesplnění požadovaného množství o 147ks.

## 8 Doporučení simulací pro praxi

V případě využití simulačních nástrojů v praxi je velmi důležité uvážit přínosy, eventuálně ztráty, které by pro společnost tato nemalá investice znamenala. Stejně tak je důležité si uvědomit šíři a přesnost simulačních modelů, které by akceptovaly časovou náročnost, velikost investice a požadovanou hloubku popisu. V žádném případě nelze očekávat přesné výsledky jednoduchého simulačního modelu jinak velmi složitého reálného systému. Tento fakt je tedy nutné brát v úvahu při vytváření konceptuálního a následně simulačního modelu.

Pokud se firma rozhodne zavést simulační nástroje a modely v praxi, lze také uvážit různorodost dostupných nástrojů, jejich zaměření a postup tvorby simulačních modelů, které jsou uváděny v kapitole 3.

Z mého pohledu i zkušeností, které jsem během zpracování této práce získal jsou simulační nástroje velkým pomocníkem v průřezu celé organizace, od administrativních procesů až po výrobní systémy i logistiku. Ovšem v mnoha případech lze tyto systémy navrhnout a optimalizovat snazšími metodami než simulací. Tento fakt reprezentuje i 3% respondentů o důležitosti využití simulačních nástrojů v celosvětovém měřítku (viz. kapitola 3.5).

Ovšem potenciál jejich využití se s rozvojem nových technologií začíná postupně zvyšovat. Studií návrhu a simulací výrobní linky, která byla předmětem této diplomové práce, bylo dosaženo ověření jeho správnosti a tento fakt by mohl sloužit jako předloha pro společnosti, které investují nemalé prostředky do rozšíření výrobních linek nebo vytváření nových. Simulací velmi nákladných systémů, které lze řešit analyticky, ale jejichž návrh vyžaduje mnoho času a zdrojů, můžeme pomocí simulace dosáhnout mnohem lepších výsledků návrhu a tím ušetřit finanční prostředky nejen při návrhu ale i při náběhu a spuštění výrobní linky do plného provozu.

V dnešní době je praktická využitelnost simulačních nástrojů velmi nízká, právě kvůli náročnosti požadavku na uživatele, velikost investice a dalších aspektů. Velkou investicí ovšem není míněno pořízení samotného simulačního nástroje, ale vyškolení a zaměstnání pracovníků s touto specializací. Nejvíce rozšířeny jsou tyto nástroje právě v automobilovém průmyslu (automobilky, nikoliv automotive), leteckém, lodním a dalších, v jejichž struktuře jsou obsaženy velmi složité systémy, jejichž chování nelze popsat jinými způsoby.

## Závěr

Úvodní část práce je věnována seznámení s problematikou nástrojů štihlé výroby, které jsou aplikovány ve společnosti BOS Automotive products s.r.o. Dále jsou popsány principy simulací výrobních systémů i procesů. Z důvodů nízkého počtu respondentů však nebylo možné zhodnotit aktuální stav simulačních nástrojů v elektrotechnice v Plzeňském kraji, a proto byla tato část nahrazena celosvětovým výzkumem využití procesních nástrojů v praxi. V teoretické části jsou v závěru popsány softwarové nástroje Plant Simulation a PTC Pro Engineer.

Hlavním cílem této práce byl návrh výrobní linky MQBx37, pro výrobu loketních opěrek a ověření správnosti navržené varianty pomocí simulačního nástroje Plant Simulation. Úvodem byla provedena analýza požadavků zákazníků Seat, VW a Škoda auto, z níž vplynuly základní informace pro návrh výrobní linky. Na základě těchto informací bylo vypočítáno množství potřebných materiálů pro jednodenní zásobu materiálu ve výrobě, ze kterých se stanovila velikost boxů a posléze i Kanbanových regálů. Pro rovnoměrné rozložení operací mezi pracovníky a stroje, bylo provedeno balancování výrobních operací a přiřazení množství operátorů k dílčím operacím. Posledním krokem návrhu bylo vytvoření několika konceptuálních modelů výrobní linky. Tři vybrané varianty prošly komplexnějším návrhem a stanovením materiálových toků. Výsledná hodnota výběrové tabulky stanovila, jako nejlepší variantu návrhu variantu B. Tato varianta byla následně vybrána jako koncept simulačního modelu, který ověřoval správnost návrhu. Součástí poslední kapitoly praktické části je popis tvorby simulačního modelu.

Simulační model ovšem nezahrnuje stochastické vlivy, které mohou být způsobeny mírou poruchovosti strojů, chováním pracovníků (intenzita produktivity se v čase mění), nebo náhodnými vlivy výpadků elektrické energie. I přes tyto faktory lze říci, že při správném nastavení reálného systému, časté údržbě strojů a dodržováním maximálních výkyvů 7% časů jednotlivých operací, je chování simulačního modelu srovnatelné s chováním reálného systému.

Dalším cílem této práce bylo zjistit chování systému v různých situacích. Pomocí experimentálních simulačních běhů, byla potvrzena skutečnost správného návrhu výrobního systému. Úkolem Experimentů číslo 2 – 4 bylo ukázat, že při změně určitých parametrů v systému, lze předpokládat odchýlení předpokládaného chování.




Výsledkem práce byla potvrzena výhodnost užití simulačních nástrojů ve výrobních podnicích s doporučením využití simulačních nástrojů v praxi. Jako rozšiřující parametr práce byl komplexní návrh výrobního systému a jeho ověření pomocí experimentů v simulačním modelu.


## Použitá literatura





- [1] Hála.A., *Štíhlá výroby elektrotechnických komponentů*. VUT Brno: 2009
- [2] Kurkin, O., *Sloučení výrobních linek DA a VAG*. ZČU Plzeň: 2009.
- [3] Interní materiály firmy BOS AUTOMOTIVE PRODUCTS s.r.o.
- [4] VOTAVA. V., kol. *Simulace ve strojírenství*. ZČU Plzeň: 2007.
- [5] Nečas. P., *Softwarové nástroje pro modelování podnikových procesů*. ZČU Plzeň: 2010.
- [6] Skřehot.P.,kol., *Ergonomie pracovních míst a pracovní podmínky zaměstnanců se zdravotním postižením*. Výzkumný ústav bezpečnosti práce: 2009.
- [7] RAND Technologies a.s.,*Úvod do objemového modelování*. I. Přerov: 2003.
- [8] Kopenec. J., *Simulace vybrané výrobní linky klimatizace jako komponenta digitální továrny*. ZČU Plzeň: 2011
- [9] Wolf.C, Harmon.P., *The State of Business Process Management 2010*: 2010.
- [10] Ulrych.Z., *Využití diskrétní simulace pro podporu řízení výrobních systémů ve strojírenských podnicích*. ZČU Plzeň: 1999.
- [11] <http://fpi.i2m.cz/most-refa> [cit. 11. Leden 2012]
- [12] <http://e-api.cz/> [cit. 12. února 2012]
- [13] <http://www.ergonomie.name/> [cit. 17. březen 2012]
- [14] <http://www.bptrends.com> [cit. 22. březen 2012]




## Přílohy

## Příloha A - Tabulka výpočtů komponentů

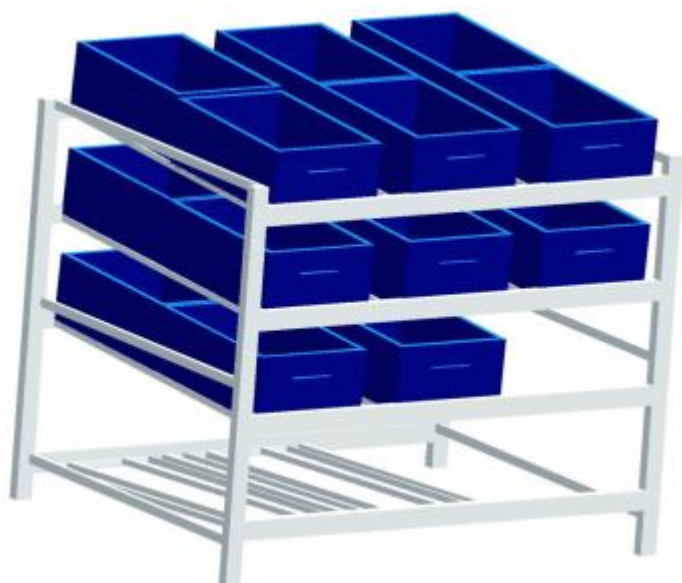
Materiál			Cup Holder 	Divider 	Raste + Puffer 	Sponky
Rozměry komponentu	Výška	mm	70	50	10	145
	Šířka	mm	110	30	40	65
	Délka	mm	200	70	70	50
	Množství	ks	1	2ks	2	19460
Spotřeba na kus	AR	ks	1	2	1 levý 1 pravý	3
	PR	ks				1
čas montáže t_g	AR	min	0,31	0,31	0,31	0,31
	PR	min				0,31
čas montáže včetně ztrát t_e	AR	min	0,35	0,35	0,35	0,35
	PR	min				0,35
Hodinová potřeba	AR	ks	193,55	193,55	193,55	580,65
	PR	ks				193,55
čas spotřeby 1 pracoviště	AR	min			0,35	0,35
	PR	min	0,35	0,175		0,35
počet nutných pracovišť pro splnění zákaznického taktu	AR	ks	1		1	8
	PR	ks		1		3
Velikost boxu		vnější	800x600x320	600x400x220	600x400x220	200x150x117
		vnitřní	754x554x286	551x351x196	551x351x196	152x104x102
Počet komponentů v boxu	AR	ks	68	300	960	19460
	PR	ks				
počet potřebných boxů ve výrobě za 4 hodiny	AR	ks	11,39	2,58	0,81	2
	PR	ks				2
Zaokrouhlený počet boxů ve výrobě za 4 hodiny	AR	ks	12	4	2	2
	PR	ks				2
Množství boxů ve výrobě při 2 boxech na pracovišti	AR	ks	12	4	2	2
	PR	ks				
Doba spotřeby materiálu v boxech	AR	h	4,22	6,2	9,92	536,2311
	PR	h				603,26

Materiál			Traeger 	PE Ovál	Lišta malá	Lišta velká
Rozměry komponentu	Výška	mm	40		2	1
	Šířka	mm	100		110	10
	Délka	mm	220		220	50
	Množství	ks	1		1	2
Spotřeba na kus	AR	ks			1	2
	PR	ks	1			2
čas montáže t_g	AR	min		0,31	0,31	0,31
	PR	min	0,31			
čas montáže včetně ztrát t_e	AR	min		0,35		
	PR	min	0,35		0,35	0,35
Hodinová potřeba	AR	ks		171,43		
	PR	ks	171,43		342,86	342,86
čas spotřeby 1 pracoviště	AR	min		0,35		
	PR	min	1,05		0,35	0,35
počet nutných pracovišť pro splnění zákaznického taktu	AR	ks		1,00		
	PR	ks	3,00		1,00	1,00
Velikost boxu		vnější	800x600x220	600x400x220	300x200x117	400x300x120
		vnitřní	754x554x196	551x351x196	251x151x93	351x251x96
Počet komponentů v boxu	AR	ks		480		
	PR	ks	75		1800	1800
počet potřebných boxů ve výrobě za 4 hodiny	AR	ks		1,43		
	PR	ks	9,14		0,76	0,76
Zaokrouhlený počet boxů ve výrobě za 4 hodiny	AR	ks		2		
	PR	ks	10		2	2
Množství boxů ve výrobě při 2 boxech na pracovišti	AR	ks		2,00		
	PR	ks	10		2,00	2,00
Doba spotřeby materiálu v boxech	AR	h		5,60		
	PR	h	5,25		10,50	10,50

Materiál			Nitě u látky AR 	Nitě u PE ovál 	Nitě u Zipu 	Nitě u Poutka 
Rozměry špulky	Výška	mm	150	150	150	150
	Šířka	mm	70	70	70	70
	Délka	mm				
	Množství	m	1500	1500	1500	1500
Spotřeba na kus	AR	m	8,35	3,37	3,03	3,37
	PR	m				0
čas montáže t_g	AR	min	0,31	0,31	0,31	0,31
	PR	min				
čas montáže včetně ztrát t_e	AR	min	0,35	0,35	0,35	0,35
	PR	min				
Hodinová potřeba	AR	m	1431,43	577,71	519,43	577,71
	PR	m				
čas spotřeby 1 pracoviště	AR	min	3,5	0,35	0,35	0,35
	PR	min				
počet nutných pracovišť pro splnění zákaznického taktu	AR	ks	11,29	1,13	1,13	1,13
	PR	ks				
Velikost boxu		vnější	300x200x170	300x200x170	300x200x170	300x200x170
		vnitřní	252x152x147	252x152x147	252x152x147	252x152x147
Počet komponentů v boxu	AR	ks	6	6	6	6
	PR	ks				
počet potřebných špulek ve výrobě za 4h	AR	ks	3,82	1,54	1,39	1,54
	PR	ks				
Zaokrouhlený počet špulek ve výrobě za 4 hodiny	AR	ks	4	2	2	2
	PR	ks				
Množství špulek ve výrobě při 3 špulcích na pracovišti	AR	ks	33,87	3,39	3,39	3,39
	PR	ks				
Doba spotřeby špulek ve výrobě	AR	h	35,49	8,79	9,78	8,79
	PR	h				

Materiál			Nitě u lišty PR 	Poutko 	Zip 
Rozměry špulky	Výška	mm	150	290	20
	Šířka	mm	70	220	200
	Délka	mm			
	Množství	m	1500	200	100
Spotřeba na kus	AR	m	3,15	0,4	0,4
	PR	m	0		
čas montáže t_g	AR	min		0,31	0,31
	PR	min	0,31		
čas montáže včetně ztrát t_e	AR	min		0,35	0,35
	PR	min	0,35		
Hodinová potřeba	AR	m	540,00	68,57	68,57
	PR	m			
čas spotřeby 1 pracoviště	AR	min	1,05	0,35	0,35
	PR	min			
počet nutných pracovišť pro splnění zákaznického taktu	AR	ks	3,00	1	1
	PR	ks			
Velikost boxu		vnější	300x200x170	300x200x220	600x400x220
		vnitřní	252x152x147	252x152x196	552x351x196
Počet komponentů v boxu	AR	ks	6	6	2
	PR	ks			
počet potřebných špulek ve výrobě za 4h	AR	ks	1,44	0,3	0,7
	PR	ks			
Zaokrouhlený počet špulek ve výrobě za 4 hodiny	AR	ks	2	1	1
	PR	ks			
Množství špulek ve výrobě při 3 špulcích na pracovišti	AR	ks	9,00	3	3
	PR	ks			
Doba spotřeby špulek ve výrobě	AR	h	25,00	8,8	4,4
	PR	h			

## Příloha B - Kanbanové regály







**Příloha C – Dotazník****DOTAZNÍK**

Dobrý den, jmenuji se Petr Nečas, jsem studentem ZČU v Plzni. Jako téma své diplomové práce jsem si zvolil Simulaci v elektrotechnické výrobě. Svůj výzkum uskutečňuji ve firmách z Plzeňského kraje, hlavním cílem je zjistit využití simulačních nástrojů v praxi. Obsahem práce je nejen teoretický základ, ale také praktická část, ve které je třeba shromáždit data a provést analýzu.

Prosím o vyplnění dotazníku. Na Odpověď vždy klikněte myší, nebo ji vyplňte ručně. Na jednu otázku – jedna odpověď. Povinné otázky jsou pouze první 4, ostatní jsou závislé na 3 otázce v dotazníku.

Děkuji Vám za Váš čas a ochotu

1. Název Vaší společnosti?

---

2. Jaké je zaměření Vaší společnosti?

- a) Elektrotechnické
- b) Strojírenské
- c) Automotive
- d) Jiné: \_\_\_\_\_

3. Jaká je velikost vaší společnosti co do počtu zaměstnanců?

- a) méně než 100
- b) 100 - 500
- c) 500 a více

4. Využíváte ve své firmě simulačních nástrojů?

- a) Ano
- b) Ne

5. Pokud ano tak jaké?

- a) Plant simulation
- b) Arena
- c) Witness
- d) Jiné: \_\_\_\_\_

6. V jaké oblasti simulační nástroje a modely využíváte?

- a) Výrobní systém
- b) Dopravní systém
- c) Logistické úlohy
- d) Distribuční aplikace
- e) Řízení lidských zdrojů
- f) Modelování a řízení podnikových procesů
- g) Jiné: \_\_\_\_\_

7. Jaké zdroje pro vytváření simulačních modelů využíváte?

- a) Interní
- b) Externí

8. Jak často využíváte simulačních nástrojů a modelů?

- a) Denně
- b) Několikrát za měsíc
- c) Pro důležité projekty

9. Jaká je Vaše roční investice do simulačních modelů?

- a) 50 000 - 100 000kč
- b) 100 000 - 500 000kč
- c) 500 000 a více

