



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

## ÚSTAV MANAGEMENTU

INSTITUTE OF MANAGEMENT

## PREDIKTIVNÍ SIMULACE JAKO PODPORA ROZHODOVÁNÍ MANAGEMENTU

PREDICTIVE SIMULATION AS A TOOL FOR DECISION MAKING SUPPORT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Horák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav managementu
Student:	<b>Michal Horák</b>
Studijní program:	Procesní management
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

## **Prediktivní simulace jako podpora rozhodování managementu**

### **Charakteristika problematiky úkolu:**

Úvod  
Vymezení problému a cíle práce  
Teoretická východiska práce  
Analýza montážní linky pro výrobu čerpadel  
Návrh optimalizace montážní linky  
Zhodnocení přínosu návrhu řešení  
Závěr  
Seznam použité literatury  
Přílohy

### **Cíle, kterých má být dosaženo:**

Návrh a vytvoření modelu (digitálního dvojčete) procesu montáže čerpadla a jeho optimalizace. Práce by měla obsahovat čtyři části:

- analytická část – globální analýza procesů ve vazbě na výrobní linku, detailní analýza procesů výroby na montážní lince
- teoretická část
- návrhová část – návrh a vytvoření modelu montážní linky (digitálního dvojčete linky), jeho verifikace, návrh experimentu a jeho vyhodnocení
- doporučený postup implementace a zhodnocení návrhu

### **Základní literární prameny:**

BANKS, Jerry. Discrete-event system simulation. 4th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005, xvi, 608 s. ISBN 0-13-144679-7.

Systém tahu ve výrobním prostředí. Brno: SC&C Partner, 2008, 95 s. ISBN 978-80-904099-0-3.

VACHALEK, Jan, Lukáš BARTALSKÝ, Oliver ROVNY, Dana SISMIŠOVÁ, Martin MORHAC a Milan LOKSIK. The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept. In: 2017 21st International Conference on Process Control (PC) [online]. IEEE, 2017, s. 258-262 [cit. 2019-10-21]. DOI: 10.1109/PC.2017.7976223.

What is Heijunka. Kanban Software for Lean Management | Kanbanize [online]. Copyright © 2019 Kanbanize.

Využití digitálního dvojčete a digitálního vlákna k vylepšení produktů a výrobních procesů. System online [online]. Brno: CCB, 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/zpravy/vyuziti-digitalniho-dvojce-e-a-digitalniho-vlakna-k-vylepseni-produktu-a-vyrobnich-procesu-z.htm>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně dne 29.2.2020

L. S.

---

doc. Ing. Robert Zich, Ph.D.  
ředitel

---

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.  
děkan

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá analýzou a optimalizací montážní linky zubových čerpadel. Bakalářská práce obsahuje návrh změn na této montážní lince za účelem vyvážení linky a optimálnímu vytížení operátorů na lince. Pro řešení je využito tvorby dynamického simulačního modelu, který odpovídá reálnému stavu linky. Simulační model je dále využit pro experimenty a výběr ideálního řešení s ohledem na zvolené cíle.

## **Klíčová slova**

dynamická simulace, digitální dvojče, optimalizace, montážní, linka, štíhlá výroba

## **Abstract**

The bachelor's thesis focuses on analysis and optimization of the assembly line of gear pumps. The bachelor's thesis contains a suggestions for changes on this assembly line in order to balance the line and optimize utilization of operators on the line. The solution uses a dynamic simulation model that corresponds with the real state of the line. The simulation model is further used for experiments and selection of the ideal solution with respect to the selected objectives

## **Key words**

dynamic simulation, digital twin, optimization, assembly, line, lean production

### **Bibliografická citace**

HORÁK, Michal. *Prediktivní simulace jako podpora rozhodování managementu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127463>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu. Vedoucí práce Zdeňka Videcká.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 17. května 2020

.....

*podpis autora*

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl bych poděkovat paní Ing. Zdence Videcké, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, její čas a cenné rady. Dále patří velké poděkování panu Ing. Tomášovi Hruškovi, za poskytnutí potřebných informací a cenných rad ze strany společnosti Bosch Diesel s.r.o.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>CÍLE A METODIKA PRÁCE.....</b>	<b>15</b>
<b>1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE .....</b>	<b>16</b>
1.1 Analýza procesů.....	16
1.1.1 Definice analýzy podnikových procesů .....	16
1.1.2 Postup při analýze procesů .....	16
1.2 Štíhlá výroba .....	17
1.2.1 Definice štíhlé výroby.....	17
1.3 Negativní aspekty produkce.....	17
1.4 Oblasti plýtvání.....	18
1.4.1 Nadprodukce .....	18
1.4.2 Čekání .....	19
1.4.3 Doprava.....	19
1.4.4 Pohyby .....	20
1.4.5 Nadměrné zpracování .....	20
1.4.6 Zásoby.....	20
1.4.7 Chyby.....	21
1.5 Metody odstranění plýtvání .....	21
1.5.1 Kanban .....	21
1.5.2 Heijunka.....	22
1.5.3 Value Stream Mapping/Design.....	23



1.5.4	Kontinuální tok (Continuous-flow manufacturing) .....	23
1.5.5	System 5S .....	23
1.5.6	Kaizen .....	24
1.5.7	System tahu.....	25
1.5.8	Analýza úzkých míst.....	25
1.5.9	PDCA (Plan, Do, Check, Act) .....	25
1.5.10	KPI (Key Performance Indicators) .....	26
1.5.11	OEE – Celková efektivita zařízení.....	27
1.5.12	Poka Yoke.....	27
1.5.13	SMED .....	28
1.5.14	Analýza kořenových příčin.....	28
1.5.15	Takt Time.....	29
1.5.16	Just-In-Time.....	29
1.6	Digitální dvojče.....	29
1.6.1	Jak funguje digitální dvojče .....	30
1.6.2	Typy digitálních dvojčat .....	30
1.6.3	Digitální dvojče ve výrobě.....	31
1.6.4	Výhody digitálních dvojčat.....	31
1.6.5	Nevýhody digitálních dvojčat .....	32
1.6.6	Software k výrobě Digitálního dvojčete .....	32
1.6.7	Možnosti využití v éře Industry 4.0. ....	33
1.7	Možnosti využití digitálního dvojčete v řízení .....	33
1.7.1	Údržba.....	33

1.7.2	Kvalita.....	34
1.7.3	Optimalizace procesů.....	34
1.8	Metodika tvorby digitálního dvojčete.....	34
1.8.1	Stanovení cílů .....	34
1.8.2	Rozsah a úroveň detailů modelu.....	35
1.8.3	Sběr dat .....	35
1.8.4	Strukturování modelu .....	36
1.8.5	Vytvoření modelu .....	36
1.8.6	Testování modelu.....	36
1.8.7	Experimentování.....	37
1.8.8	Dokumentace .....	37
1.9	WITNESS Horizon .....	37
1.10	Modelování v programu WITNESS Horizon .....	37
1.11	Modelovací okno .....	37
1.11.1	Element tree .....	38
1.11.2	Model assistant .....	38
1.11.3	Designer elements.....	38
1.11.4	Interact box .....	39
1.11.5	Zobrazení času .....	39
1.12	Elementy .....	40
1.12.1	Atributy elementů .....	41
1.12.2	Stavy elementů.....	41
1.13	Pravidla a akce .....	41

1.14	Experimenty a optimalizace.....	42
<b>2</b>	<b>ANALYTICKÁ ČÁST PRÁCE .....</b>	<b>43</b>
2.1	Představení společnosti Bosch Diesel s.r.o.....	43
2.1.1	Organizační struktura.....	44
2.2	Globální analýza procesů.....	46
2.3	Detailní analýza montážní linky GP 40 .....	48
2.3.1	Zubové čerpadlo GP40 .....	48
2.3.2	Výrobní proces zubového čerpadla GP40 .....	49
2.3.3	Montážní linka GP 40 .....	49
2.4	Stanice na lince .....	50
2.4.1	St. 10 Vkládání na přepravník .....	50
2.4.2	St. 20 Párování těles a ozubených kol .....	50
2.4.3	St. 30 Vložení ozubeného kola do tělesa .....	50
2.4.4	St. 40 Test těsnosti a protáčení .....	51
2.4.5	St. 50 Funkční test .....	51
2.4.6	St. 60 Data matrix .....	51
2.4.7	St. 70 Kompletace a St. 80.....	51
2.5	Analýza současného stavu .....	51
2.5.1	Pracovní doba .....	51
2.5.2	Naměřená data .....	52
2.5.3	VSM montážní linky.....	52
2.5.4	Analýza úzkého místa.....	52
2.5.5	OEE linky s prostoji.....	53

2.6	Zhodnocení analytické části.....	53
<b>3</b>	<b>NÁVRHOVÁ ČÁST.....</b>	<b>54</b>
3.1	Definování problému .....	54
3.2	Metodika řešení.....	54
3.3	Stanovení konkrétních cílů .....	55
3.4	Tvorba modelu .....	55
3.4.1	Koncept modelu .....	55
3.4.2	Sběr dat .....	56
3.4.3	Tvorba simulačního modelu .....	57
3.4.4	Validace a verifikace modelu .....	60
3.4.5	Výchozí stav simulace .....	60
3.5	Návrh experimentů s modelem .....	62
3.5.1	Experiment 1 .....	62
3.5.2	Experiment 2.....	64
3.5.3	Experiment 3.....	65
3.5.4	Experiment 4.....	67
<b>4</b>	<b>ZHODNOCENÍ NÁVRHU ŘEŠENÍ.....</b>	<b>70</b>
4.1	Zhodnocení simulačního modelu a výsledků experimentů.....	70
4.2	Časové zhodnocení tvorby simulačního modelu .....	72
4.3	Ekonomické zhodnocení návrhu.....	73
4.3.1	Náklady na pořízení simulačního software.....	73
4.3.2	Personální náklady .....	73

4.3.3 Ekonomické přínosy navržených změn .....	73
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>74</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>75</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....</b>	<b>81</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....</b>	<b>84</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>85</b>

## ÚVOD

V současnosti je každá společnost nucena neustále optimalizovat své procesy z důvodu udržení konkurenceschopnosti. Pro účel optimalizace procesu dnes lze využít různých softwarů, které umí sestrojít tzv. digitální dvojče daného procesu. Tyto digitální simulace lze potom využít při návrhu scénářů pro optimalizaci daného procesu.

Tato bakalářská práce se bude zaměřovat právě na optimalizaci procesu montážní linky za pomoci simulačního modelu vytvořeného v programu WITNESS Horizon. Montážní linka se nachází v Jihlavě ve společnosti Bosch Diesel s.r.o., která se díky své vizi digitalizace v rámci Průmyslu 4.0. zajímá také o tuto technologii.

Moje bakalářská práce se bude snažit prozkoumat a představit možnosti této technologie.

Práce bude rozdělena na čtyři části – teoretické, analytické, návrhové a zhodnocení návrhu s jeho implementací. V teoretické části budou popsány základní pojmy jako je analýza procesu, štíhlá výroba a digitální dvojče. V analytické části bude nejprve popsána společnost Bosch Diesel s.r.o. její organizace a výrobní část CP3. Dále bude následovat analytická část rozdělená na globální analýzu společnosti Bosch Diesel s.r.o., kde budou popsány hlavní, vedlejší a řídicí procesy ve firmě a detailní analýzu samotné montážní linky. V této části budou identifikovány problémy a metriky v procesu výroby, kterým se práce bude věnovat v návrhové části.

Náplní návrhové části bude návrh změn na montážní lince, aby došlo k vyvážení taktu a rovnoměrnému vytížení operátorů. Pro řešení bude vytvořen dynamický simulační model, který bude verifikován a validován, aby odpovídal reálnému stavu linky. Simulační model bude dále využit pro experimenty a výběr ideálního řešení s ohledem na zvolené kritéria. Nakonec budou jednotlivé experimenty porovnány a zhodnoceny.

Experimenty budou porovnány na základě tří kritérií – počet vyrobených kusů za směnu, procent vytížení jednotlivých operátorů a vytížení jednotlivých stanic.

V poslední kapitole bude práce zaměřena na zhodnocení výsledků experimentů a ekonomické zhodnocení návrhů.

## **CÍLE A METODIKA PRÁCE**

Cílem mé bakalářské práce je optimalizace montážní linky zubových čerpadel GP40 ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. Cílem optimalizace je vyhledání úzkých míst a vyvážení výrobní linky za pomoci dynamického simulačního modelu. Vytvoření simulačního modelu a práce s ním vychází z metodiky simulačních modelů a vychází z detailní analýzy montážní linky a z naměřených dat. Hlavním cílem je otestování několika experimentů a předložení nejlepšího experimentu, který optimalizuje a vyváží výrobní proces a vytížení operátorů na lince.

Dílčí cíle bakalářské práce, kterých bude dosaženo jsou:

- zpracování teoretické části na základě literárních zdrojů
- nalezení úzkých míst a problémů v procesu

Během zpracování této práce jsem použil metodiku pro tvorbu simulačních modelů a metodu globální a detailní analýzy.

# 1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

Tato kapitola obsahuje teoretická východiska problematiky. Jsou zde vysvětleny pojmy jako je analýza procesů, štlíhlá výroba a digitální dvojče.

## 1.1 Analýza procesů

Tato kapitola definuje analýzu podnikových procesů a její postup.

### 1.1.1 Definice analýzy podnikových procesů

Jedná se o metodu v rámci řízení podnikových procesů, která analyzuje, zda současné procesy plní své cíle. Analýza podnikových procesů nám pomůže identifikovat škodlivé prvky v každodenních operacích ve výrobním podniku a identifikovat, jak překonat překážky a zvýšit efektivitu. Bez řádné analýzy není možné správně optimalizovat výrobní procesy a dochází tak ke ztrátě času a úsilí při řešení nesprávných problémů. Při analýze procesů dochází ke shromažďování dat a stanovení cílů za účelem zlepšení procesů, což je možné odstraněním zbytečných činností, snížením plýtvání a zvýšením efektivitu. Porozumění procesu, kvalita a efektivita jsou tři základní kritéria, pomocí kterých lze analyzovat proces a určit oblasti, které vyžadují změnu. [1]

### 1.1.2 Postup při analýze procesů

1. Analýza současného stavu
2. Identifikování příležitosti ke zlepšení
3. Definování rozsahu
4. Dokumentování procesu
5. Vyhodnocení efektivitu procesu
6. Přepřacování procesu za účelem zvýšení efektivitu
7. Implementování změn
8. Validace nového řešení [1]



## 1.2 Štíhlá výroba

Štíhlý podnik je takový podnik, který v provozu organizace (výroba, správa podniku, údržba) zavede souhrn opatření, které vedou ke snížení nákladů v provozu. Mezi takové podniky v České republice patří zejména společnosti z automobilového průmyslu. Podnik musí neustále usilovat o rozvoj principů štíhle výroby, jako je např. produktivita a eliminace plýtvání a omylů. Tento koncept lze najít u Henryho Forda nebo Tomáše Bati. Název vznikl v společnosti Toyota, kde se tento koncept označoval jako „Toyota Production Systém“ [2]

### 1.2.1 Definice štíhlé výroby

Základní myšlenka štíhlé výroby spočívá v neustálém zlepšování výroby a práci na odstranění plýtvání z výrobního procesu. Plýtvání může mít mnoho podob, ale hlavní cíl je eliminovat vše, co nepřináší žádnou přidanou hodnotu z pohledu našeho zákazníka. Štíhlá výroba identifikuje sedm klíčových oblastí plýtvání. Štíhlá výroba v sobě zahrnuje řadu metod a postupů, jejichž cílem je omezit vliv lidského faktoru, zvýšit efektivitu a snížit potřebu času, nákladů a prostoru při zachování stejné kvality. [3,4]

## 1.3 Negativní aspekty produkce

Cílem štíhlé výroby je celková eliminace všech negativních aspektů z výroby. Tyto aspekty systém Toyoty rozděluje:

- **Přetížení (Muri):** výroba musí být plynulá. Jednotlivé procesy na sebe musí navazovat a přizpůsobit se výrobnímu taktu celého výrobního systému. Nemůže tak nastat situace, že jeden výrobní proces je z hlediska objemu poddimenzován a druhý naopak naddimenzován. Muri způsobuje přetížení, tím myslíme, že budeme zbytečně stresovat naše zaměstnance a procesy. To je způsobeno murou a řadou dalších selhání v našem systému, jako je například nedostatek školení, nejasné nebo žádné definované způsoby práce, nesprávné nástroje a špatně promyšlená měření výkonu. [2,5]

- **Nekonzistence ve výrobě (Mura):** Plýtvání nerovnostmi nebo nekonzistencí. Neuspokojením naší poptávky klademe nereálné požadavky na procesy a lidi a způsobujeme vytváření zásob a dalších odpadů. [2,5]
- **Plýtvání (Muda):** Muda je jakákoliv činnost nebo proces, který nepřináší přidanou hodnotu: fyzická ztráta času, zdrojů, a nakonec i peněz (obr.1). Do plýtvání patří veškeré plýtvání výrobními faktory. Jedná se o ztráty, které plynou z přeměny vstupů na výstupy. Rozlišujeme celkem 7 druhů plýtvání: nadvýroba, čekání, doprava, nadměrné zpracování, zásoby, pohyby, zmetky. [2,5]



Obrázek 1: 7 forem plýtvání

(Zdroj: 6)

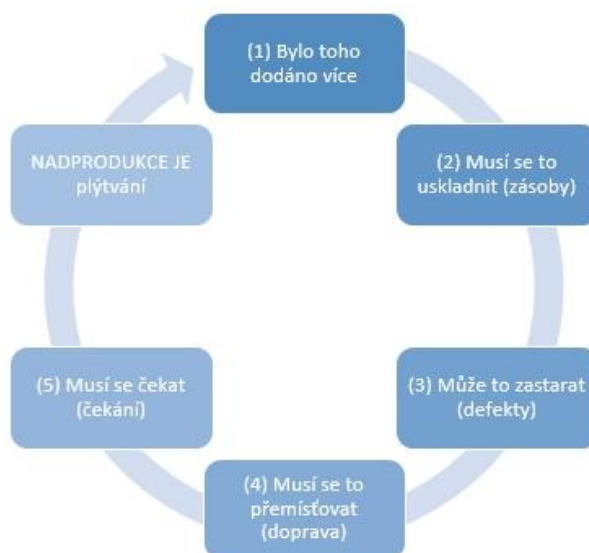
## 1.4 Oblasti plýtvání

Tato kapitola detailně popisuje sedm druhů plýtvání ve výrobě.

### 1.4.1 Nadprodukce

Nadvýroba spočívá v děláni něčeho dříve, než je to skutečně potřeba (obr.2). Tato forma plýtvání je velice závažná, protože při ní dochází k přeplňování skladů, které často vede k maskování dalších problémů a neefektivnosti. Nadprodukcí se dá předcházet redukcí tempa výroby tzv. takt time, tak aby rychlost výroby odpovídala míře poptávky

zákazníků. Za pomoci systému Kanban. Metodou SMED (single minute Exchange of dies), která urychluje fázi výrobního procesu, při které dochází ke změně nastavení výrobních nástrojů. [4,7]



**Obrázek 2: Nadprodukce**

(Zdroj: 6)

### 1.4.2 Čekání

Jedná se o čas, kdy nedokončená výroba čeká na další krok ve výrobě (v tomto čase se nepřidává žádná hodnota). Může se jednat například o čekání na materiál, dokončení předchozí operace apod. Prodlevě mezi jednotlivými kroky lze předcházet navržením procesů tak, aby byl tok výroby kontinuální a aby mezi jednotlivými kroky byly minimální (nebo žádné) prodlevy. Využitím standardizovaných pracovních pokynů, lze docílit toho, že pro každý krok výroby bude použita jednotná metoda a čas (standardizovaná práce). [4,7]

### 1.4.3 Doprava

Zbytečný pohyb surovin, nedokončených výrobků a hotového zboží. V rámci zeštíhlování výroby se snažíme omezit úroveň manipulace nezbytné pro procesy a minimalizovat vzdálenosti. Pokud se podíváme například na Toyotu, uvidíme, že mnoho z jejich dodavatelů jsou poblíž jejich závodů. Výrobky tak nejsou dodávány na obrovské

vzdálenosti za velkou cenu s možným zpožděním a poškozením. Minimalizací vzdáleností mezi jednotlivými body jako jsou např. výrobní linky, nákladové prostory nebo pracoviště šetříme čas a prostor. K manipulaci lze využít vozíky a zásobníky, které můžeme přizpůsobit změnám materiálu. Protiopatření je navržení lineárního, sekvenčního toku od surovin po hotové zboží (Value Stream Mapping, Value Stream Design). [7]

#### **1.4.4 Pohyby**

Nadbytečné pohyby pracovníků výrobní linky (pohyby, které nepřinášejí žádnou hodnotu). Zbytečný pohyb v procesu způsobuje řadu problémů. Pokud pracovníci tráví čas přesouváním, hledáním a čekáním, než aby skutečně vykonávali jednotlivé kroky v procesu, pak bude pracovní efektivita velmi nízká. Méně zjevným problémem je možná újma, kterou může zbytečný pohyb způsobit z dlouhodobého hlediska např. svalové problémy operátorů nebo vyšší míra opotřebení u strojů. Hlavní příčiny nadbytečného pohybu jsou špatně uspořádané prostory, nástroje, nedostatek místa, organizace součástí atd. Nejúčinnější nástroj štíhlé výroby, který nám pomůže eliminovat nadbytečný pohyb je 5S nebo SMED. [7]

#### **1.4.5 Nadměrné zpracování**

Více zpracování, než je potřeba k výrobě toho, co zákazník potřebuje. Přidání zbytečné práce, která není nutná, nás stojí peníze s ohledem na čas zaměstnanců, použité materiály a opotřebení zařízení. Tyto náklady mohou v průběhu času činit značnou částku, snižují také efektivitu, protože operátoři, kteří provádějí nadměrné zpracování, mohou provádět jiné úkoly s přidanou hodnotou, za které je zákazník ochoten zaplatit.

Protiopatření – porovnávání požadavků zákazníků s výrobními specifikacemi, hledání možných zjednodušení výrobního procesu [7]

#### **1.4.6 Zásoby**

Množství produktů (surovin, nedokončených nebo hotových výrobků), které jsou nad rámec bezprostřední potřeby. Dodávání surovin uspořádáme tak, aby odpovídali potřebám výrobní linky. Minimalizaci nákladů na manipulaci a nutnost skladování lze

snížit metodou just-in-time. Redukovat plýtvání lze za pomoci adaptabilních vozíků a zásobníků, které nám umožňují dopravit přesné množství položek k výrobní lince. Většina firem operuje s nízkými skladovými úrovněmi, kterými zásobují výrobní linku a kombinují tak výhody větších dodávek se stylem just-in-time. [7]

Protiopatření – dodání surovin pouze v případě potřeby (Just-in-time), snížení nebo eliminace bufferů mezi jednotlivými kroky výroby (Continuous flow), protiopatření proti nadprodukcí (Takt time, Kanban, SMED) [4]

### **1.4.7 Chyby**

Vyrobení vadného kusu. Zmetkovitost může být zapříčiněna mnoha různými problémy. Mnoho vad je zapříčiněno nesprávnou metodou v důsledku nestandardních postupů operací, rozdílů ve způsobu, jakým jsou procesy prováděny různými operátory při různých směnách. Protiopatřením může být navržení procesů, tak aby zmetkovitost byla co nejmenší (Poka-Yoke). Hledáním nejčastější vady a určením, proč k ní dochází. Vytvořením pracovních pokynů, které zajišťují jednotný způsob výroby (standardizovaná práce). [7]

## **1.5 Metody odstranění plýtvání**

Pomocí těchto metod lze dosáhnout snížení zásob ve výrobě, redukce seřizovacích časů, zkrácení průběžných časů výroby, redukce potřebných ploch k výrobě, snížení personálních nákladů, snížení nákladů na kvalitu. Eliminuje plýtvání zásob a nadprodukcí. [8,9]

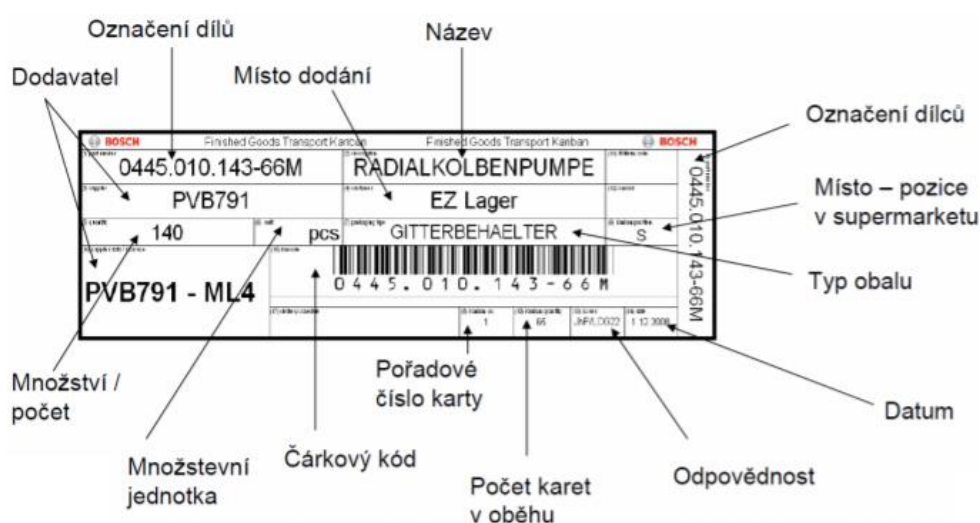
### **1.5.1 Kanban**

System sloužící jako nástroj k vyladění výroby a propojení jednotlivých procesů. Způsob regulace toku zboží uvnitř závodu, externích dodavatelů a zákazníků. Na základě automatického doplňování pomocí signálních karet, které ukazují, kdy je třeba více zboží. [10]

Kanban je založen na třech základních principech:

- Vizualizace toho, co dnes děláme (workflow)
- Omezení nedokončené práce (WIP)
- Zvýšení toku práce [10]

Koncepce kanban metody je založená na poskytování jednotlivých komponent ve výrobě, kterých je zapotřebí, v daném množství a čase, tak aby nevznikaly přebytečné zásoby. K tomu se využívá tzv. kanbanová karta. (obr.3) [10]



**Obrázek 3: Kanbanová karta**

(Zdroj: Intranet společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

### 1.5.2 Heijunka

Heijunka je jedna ze štíhlých metod ke snížení nerovností ve výrobním procesu a minimalizaci šance na přetížení. Tento termín pochází z japonštiny a v překladu znamená vyrovnávání. Může společnosti pomoci reagovat na změny poptávky a co nejlépe využít kapacitu. Implementací Heijunky společnost může zastavit produkci v dávkách a začít zpracovávat objednávky podle požadavků zákazníka. To společnosti umožní snížit náklady na zásoby, protože bude mít menší množství zboží v rezervě. Heijunka umožňuje produkovat a přinášet hodnotu zákazníkovi rovnoměrným tempem a reagovat tak na výkyvy podle průměrné poptávky. [11]

### 1.5.3 Value Stream Mapping/Design

Technika štíhlé výroby, která analyzuje, navrhuje tok materiálů a informací, potřebných k tomu, aby se produkt dostal k zákazníkovi. K zobrazení pracovních a informačních toků se používá systém standartních symbolů. Zobrazuje současný a budoucí stav procesů způsobem, který zdůrazňuje příležitosti ke zlepšení. Ukazuje plýtvání současnými procesy a poskytuje plán pro zlepšení prostřednictvím budoucího stavu. Jedná se o jeden z nejúčinnějších, a přitom snadno použitelných mapovacích nástrojů. Může vést k rychlému a významnému zlepšení našeho podniku. Mapování hodnotového toku nám pomáhá vytvořit společnou vizi a směr pro společnost. [8]

### 1.5.4 Kontinuální tok (Continuous-flow manufacturing)

Přístup ke štíhlé výrobě, která je přesný opak dávkové výroby. Souvisí s přístupem včasné výroby (just-in-time) a výrobou kanbanů. Vyžaduje průběžné zkoumání a zlepšování. Cílem je optimálně vyvážená výrobní linka s malým plýtváním, nejnižšími možnými náklady, včasnou a bezchybnou výrobou. Eliminuje plýtvání (např. zásoby, čekací dobu a přepravu) [8]

### 1.5.5 Systém 5S

Metodika 5S je systém pro organizaci pracoviště. Tato metodika je považována jako základ štíhlé výroby, protože pracoviště, jehož cílem je eliminovat množství plýtvání a zvýšit efektivitu, je potřeba nejprve zorganizovat. 5S není zaváděno pouze ve výrobě ale i v kancelářích. [2,8]

5S je výraz pro 5 kroků této metodiky – Seiri (Sort), (Seiton) Set in Order, (Seiso) Shine, Seiketsi (Standardize), Shitsuke (Sustain) (obr.4).

**Seiri (Sort)** – organizace. Roztřídění mezi to, co potřebujeme a co již ne

**Seiton (Set in order)** – zavedení pořádku, který zamezí zbytečným prostojům.

**Seiso (Shine)** – vyčištění a kontrola pracovního prostředí. Pracovník se na pracovišti cítí lépe.

**Seiketsu (Standardize)** – standardizování vzhledu pracovního prostředí. Jednotný vzhled umožňuje střídání pracovníků na pracovních místech, čímž se zefektivní využití výrobních faktorů podniku.

**Shitsuke (Sustain)** – pravidelné používání daných standardů [2,8]



Obrázek 4: 5S Systém

(Zdroj:12)

### 1.5.6 Kaizen

Přístup neustálého zlepšování, který je založený na myšlence, že malé změny nakonec mohou vést k velkým zlepšením. Je jádrem štihlé výroby a byl vyvinut za účelem snížení závad, odstranění plýtvání, zvýšení produktivity, podpory účelu a odpovědnosti pracovníků a podpory inovací. Kaizen se snaží odstranit problémy spojené s plýtváním v procesech. Zaměstnanci aktivně spolupracují, aby dosáhli pravidelných dílčích vylepšení výrobního procesu. [8]

Kombinuje kolektivní talenty společnosti a vytváří motor pro neustálé odstraňování plýtvání z výrobních procesů. [8]



### **1.5.7 Systém tahu**

Systém tahu je pravý opak systému tlaku. Systém tahu ve výrobě odstraňuje plýtvání, které ve výrobě založené na systému tlaku vzniká. Při využití systému tlaku se před některými pracovišti hromadí zásoby, protože kapacita dalšího pracoviště je menší než kapacita současného pracoviště. Základní myšlenka systému tahu je, že by se výroba na pracovišti měla spouštět tehdy, kdy máme informaci z dalšího pracoviště o volné kapacitě pro výrobu. Snaha v procesech řízených tahem je rozdělit jednotlivé pracovní operace tak, aby byly časově stejně náročné a nehromadily se nám ve větší míře rozpracované kusy na jednotlivých pracovištích. [13]

### **1.5.8 Analýza úzkých míst**

Úzké místo je pracoviště, kterému vyrobení dobrého kusu trvá ze všech pracovišť z procesu nejdelší dobu. Úzké místo nemusí být zapříčiněno samotným časem procesu (CT) na pracovišti, ale také výší ztrát (OEE). Časem tohoto místa se řídí celý proces. Pro zvýšení taktu celého procesu je nutné vyřešit problémy na úzkém místě. Různé typy mohou mít úzké místo na různých operacích. Úzké místo je možné stanovit i pozorováním ve výrobě. Před úzkým místem se hromadí zásoby, které pracoviště nestíhá zpracovávat. Za pracovištěm by měly být zásoby menší nežli před ním. [8]

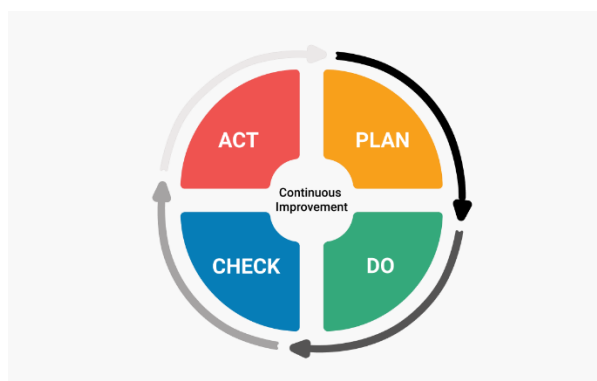
### **1.5.9 PDCA (Plan, Do, Check, Act)**

Jedná se o metodu určenou hlavně pro efektivní řešení a zlepšení výrobních aktivit.

Tento cyklus je založen na myšlence, že nám vzniká potřeba neustále něco zdokonalovat s ohledem na kvalitu, produktivitu, náklady anebo bezpečnost. (obr.5). [8,14]

Metodologie pro provádění vylepšení:

- Plan – stanovení plánů a očekávaných výsledků
- Do – implementování plánu
- Check – ověření dosažených výsledků
- Act – přezkoumaní a posouzení, zda bylo dosaženo očekávaných výsledků [8,14]



**Obrázek 5: PDCA Cyklus**

(Zdroj: 14)

### **1.5.10 KPI (Key Performance Indicators)**

Metriky určené ke sledování a povzbuzování pokroku směrem ke kritickým cílům organizace (obr.6).

- Jsou v souladu se strategickými cíli nejvyšší úrovně.
- účinné při odhalování plýtvání (např. OEE).
- Jsou snadno ovlivňováni zaměstnanci výrobního závodu [8]

**KPI = Klíčový ukazatel výkonnosti (Key Performance Indicator)**

- Používá se pro monitorování a řízení procesu
- Měří účinnost procesu [8]

**KPR = Výsledek klíčového výkonu (Key Performance Result)**

- Slouží k zobrazení výsledku procesu (stupeň nebo splnění)
- Lze měřit až po uplynutí určitého času [8]



Poka Yoke zajišťuje, aby před provedením jednotlivých kroků procesu, existovaly správné podmínky, a tím se zamezilo výrobě zmetků. Zároveň slouží k detekování a eliminaci vad v procesu. [8]

Poka Yoke je jakýkoliv mechanismus ve štíhlém výrobním procesu, který pomáhá vyhýbat se chybám. Jeho účelem je odstranit vady výroby prevencí, opravením a upozorněním na lidské chyby. [8]

### **1.5.13 SMED**

SMED (Single-Minute Exchange of Dies) je metoda pro zkrácení času potřebného k dokončení změn zařízení. Podstatou SMED je převést co nejvíce kroků potřebných k přenastavení výrobních zařízení na tzv. externí (prováděné za běhu zařízení) a interní kroky zjednodušit a zefektivnit. [8]

Výhody systému SMED:

- Nižší výrobní náklady – rychlejší přechody znamenají méně prostojů zařízení
- Menší velikost dávek – rychlejší přechody umožňují častější změny produktů
- Lepší reakce na požadavky zákazníků – menší velikosti dávek umožňují flexibilnější plánování
- Nižší zásoby
- Hladší spouštění – standardizované procesy přechodu zlepšují konzistenci a kvalitu [8]

### **1.5.14 Analýza kořenových příčin**

Metodika řešení problémů, která se zaměřuje na vyřešení základního problému místo použití rychlé opravy, která vyřeší pouze okamžité příznaky problému. Pomáhá zajistit, aby byl problém skutečně odstraněn použitím nápravných opatření na „kořenovou příčinu“ problému. Můžeme využít například Ishikawův diagram nazývaný též diagram rybí kosti. [8]

### **1.5.15 Takt Time**

Máme tři základní takty:

- Takt cyklu
- Linkový takt
- Zákaznický takt

Tempo výroby (např. výroba jednoho kusu každých 34 sekund), které se přizpůsobuje požadavkům zákazníka. Počítá se jako plánovaná doba výroby/požadavek zákazníka.

Poskytuje jednoduchou, konzistentní a intuitivní metodu pro určení tempa produkce. Lze snadno upravit, aby bylo efektivně dosaženo cíle výroby. [8]

### **1.5.16 Just-In-Time**

Vysoce účinný systém pro snižování úrovně zásob. Zlepšuje tok práce a snižuje nároky na prostory. Jedná se o filozofii řízení, která vyžaduje výrobu toho, co zákazník chce, kdy to chce, v požadovaném množství. Namísto vytváření velkých zásob toho, co si myslíme, že zákazník může chtít, vyrábíme přesně to, co zákazník potřebuje. To nám umožňuje soustředit naše zdroje pouze na plnění toho, za co dostáváme zaplacené. [8]

## **1.6 Digitální dvojče**

Návrh virtuálního ekvivalentu fyzického produktu nebo digitálního dvojčete byl představen v roce 2002 Dr. Grievsem z Michiganské univerzity v rámci koncepce řízení životního cyklu produktu. Grieves popisuje digitální dvojče jako zrcadlení toho, co existuje ve skutečném a virtuálním světě. Digitální dvojče obsahuje všechny informace o fyzickém systému. Zjednodušeně se jedná o reprezentaci všech atributů fyzického objektu, a ne pouze mechanických nebo geometrických, ale také elektronických, kabeláže, software, mikro software atd. nejen model CAD. [16,17]

### **1.6.1 Jak funguje digitální dvojče**

Digitální dvojče je konstruováno tak, že může přijímat vstup od senzorů shromažďující data z protějšku v reálném světě. To umožňuje dvojici simulovat fyzický objekt v reálném čase, v procesu, který poskytuje náhled na výkon a potenciální problémy. Digitální dvojče by také mohlo být navrženo na základě prototypu svého fyzického protějšku, v tomto případě může, poskytnou zpětnou vazbu, jak je produkt vylepšován. Ještě před vytvořením jakékoliv fyzické verze by dvojče mohlo sloužit jako prototyp. [7,29]

Digitální dvojče je nástroj, který lze využít v zdánlivě neomezeném počtu scénářů:

- Vyhodnocování rozhodnutí o výrobě na základě analýzy
- Vizualizace produktů fungujících v jejich prostředí nebo používané skutečnými lidmi v reálném čase
- Uvedení zařízení do provozu ve virtuálním prostředí
- Odstranění problémů a se zařízením a zkrácení doby výroby
- Získání kontroly nad složitými procesy
- Snížení nákladů a optimalizace výkonů [18,19]

### **1.6.2 Typy digitálních dvojčat**

Díky své funkčnosti jsou digitální dvojčata zvláště užitečná při údržbě strojů a infrastruktury, která analyzuje velké množství dat. Digitální dvojče však lze využít i v jiných odvětvích:

- Zdravotní péče – ve zdravotnictví umožňují digitální dvojčata orgánů lékařům testovat různé přístupy k poskytování péče.
- Služby – ve službách umožňují efektivní správu širokého spektra dokumentů, včetně 3D modelů, 2D procesních schémat.
- Inteligentní města – digitální dvojče může pomoci městům stát se udržitelnějšími z hlediska životního prostředí, hospodářství a společnosti.

- Výroba [20,17]

### **1.6.3 Digitální dvojče ve výrobě**

Digitální dvojče výroby se stará o výrobní část životního cyklu. Aby digitální dvojče dosáhlo potenciálu toho, co může, poskytnou pro efektivitu výroby, musí být vymodelován celý proces výroby nebo závodu. Tento model umožňuje analýzu celého výrobního systému, identifikaci oblastí, které lze zlepšit, a dokonce i předpovědi toho, co se stane. Hlavním účelem digitálního dvojčete výrobního systému je usnadnění procesu rozhodování a umožnit automatizaci rozhodování prostřednictvím simulace. [7,8]

Ve fázi návrhu produktu digitální dvojče plně využívá výpočetní a simulační funkce, které umožňují optimalizaci návrhových modelů. S modelem digitálního dvojčete lze také usnadnit ověření funkcí produktu, struktury a vyrobitelnosti. [21]

Ve fázi výroby může být celý výrobní proces řízen a optimalizován pomocí digitálního dvojčete. Od vstupu surovin až po výstup hotových výrobků, jsou informace o geometrii, vybavení, nástrojích a prostředí řízeny tak, aby umožňovaly přechod od hromadné výroby k zakázkové výrobě. [21]

Během provozní fáze jsou údaje o výkonu produktu systematicky shromažďovány jako součást digitálního dvojčete, aby se ověřily a aktualizovaly stávající modely. Získané znalosti ze skutečných provozních podmínek lze použít k úpravě produktů nové generace. [21]

Ve fázi služeb může digitální dvojče poskytovat služby s přidanou hodnotou s podporou fyzické simulace a inteligence založené na datech. K včasnému rozhodování a snížení rizika nehod lze implementovat celou řadu služeb, jako je diagnostika poruch, odstraňování problémů, předpovědi zbývající doby životnosti a údržba. [21]

### **1.6.4 Výhody digitálních dvojčat**

Digitální dvojčata v reálném čase nabízejí pohled na to, co se děje s fyzickými produkty, což může radikálně snížit náklady na údržbu. [21]

Digitální dvojče nabízí výrobnímu závodu mnoho výhod. Primárně poskytuje úplný přehled celého závodu a jeho výkon. Tento přehled lze využít pro porozumění toho, na

keré procesy se zaměřit a kde lze provádět neustálé zlepšování. Díky neustálému zlepšování procesů a vyšší efektivitě výroby, lze digitální dvojče a Průmysl 4.0 využít k upevnění pozice společnosti na trhu. [21]

Digitální dvojčata poskytují kontrolu nad celým výrobním řetězcem, což zvyšuje produktivitu. Údržby a odstavní linky lze přesněji předpovědět, a navíc je možné experimentovat se simulací. Toto je možné v případě, že stroje, součásti a nástroje mají senzory, které snímají data v reálném čase a indikují nestandardní hodnoty a existuje software pro vyhodnocení těchto odchylek. [21]

Simulace umožňuje plánovat vylepšení procesu, jako je výměna součástí, aniž bychom museli přerušit výrobu, a umožňuje přípravu alternativních plánů v případě poruch.

Digitální dvojče lze kombinovat s rozšířenou i virtuální realitou. Tuto kombinaci lze dobře využít při školení obsluhy ve výrobním procesu. Operátor linky může nosit brýle rozšířené reality a provozovat digitální verzi linky, která se chová přesně jako skutečná výrobní linka. Rovněž i pro PGL projekty. [21]

Kombinace digitálního dvojčete a rozšířené reality má další výhody. Digitální znázornění výrobní linky, lze využít v případě, kdy je obtížné se k úseku výrobní linky dostat, nebo v případě kdy není přítomný žádný odborný technik. Díky digitálnímu dvojčeti a brýlím rozšířené reality mohou technici vyřešit vzniklé problémy vzdáleně. [17,19]

### **1.6.5 Nevýhody digitálních dvojčat**

Vytváření digitálního dvojčete výroby má některé nevýhody. První a zároveň největší problém je cena za software pro výrobu virtuálního modelu. Druhým je, že odborník, který tento software umí používat, není také zrovna levný. A poslední nevýhodou je obtížnost softwaru, která je způsobena množstvím úprav a možností softwaru. Z těchto důvodů může použití tohoto softwaru znamenat příliš velké náklady pro malé a střední firmy. [22]

### **1.6.6 Software k výrobě Digitálního dvojčete**

Velké množství firem, které podporují myšlenku Industry 4.0. vytváří software pro modelování virtuální výroby. Nejznámějšími programy jsou Tecnomatix, Process



Simulate, SIMIT (Siemens), Delmia (Dassault Systemes), RobotStudio (ABB), KUKASim (KUKA AG), software ESI-Group, Lanner Group LTD (Witness Horizon). Digitální dvojčte montážní linky pro zubové čerpadlo GP 40 budu modelovat v softwaru Witness Horizon. [22]

### **1.6.7 Možnosti využití v éře Industry 4.0.**

Digitální dvojčata pomáhají poskytovat odpovědi na to, proč se události staly. Digitální dvojčata také poskytují mnohem přesnější obraz pro plánování údržby, maximalizace účinnosti, spolehlivosti strojů a minimalizaci prostojů. [17]

Digitální dvojčata nám umožňují simulovat a analyzovat, co se stalo v minulosti, optimalizovat to, co se nyní děje a předpovídat, co se stane v blízké budoucnosti – s mnohem větší přesností a spolehlivostí, než bylo dříve možné. [17]

Za pomoci digitálního dvojčete lze otestovat spouštění linek a plánování výroby pro optimální sortiment produktů a objem výroby závodu. Umožňuje manažerům, hlavní obsluze a technikům údržby virtuálně používat nové zařízení a linky, což vede k minimalizaci nákladných problémů spojených se spuštěním nové linky, jako jsou např. špatná kvalita, bezpečnost a zastavení strojů. [17]

## **1.7 Možnosti využití digitálního dvojčete v řízení**

Tato kapitola se zaměřuje na využití digitálních dvojčat v řízení a výrobě.

### **1.7.1 Údržba**

Za pomoci digitálního dvojčete lze přejít od reaktivního přístupu k prediktivnímu přístupu údržby. Opravy lze provádět „just-in-time“, ne příliš pozdě na to, aby přerušily výrobu, ale ne příliš brzy, aby se zbytečně nevyměnily části nebo nenafukovaly plánované odstávky linky. Digitální dvojčata umožňují, aby technické týmy byly velmi dobře informovány, aby na místo dorazily se správnými náhradními díly, nástroji a pokyny pro požadovanou údržbu. [23]

### **1.7.2 Kvalita**

Digitální dvojčata mohou pomoci identifikovat zdroj problémů s kvalitou, předcházet jim a snížit tak zmetkovitost. [23]

### **1.7.3 Optimalizace procesů**

Při testování nových nápadů pro optimalizaci je digitální dvojče velmi užitečné v tom, že výroba může pokračovat bez přerušení. Dokonce i poměrně extrémní změny mohou být provedeny v provozu bez potřeby naplánovaných odstávek. Můžeme odpovídat například na otázky: co se stane ve výrobě, když se změní určitý parametr. Jinými slovy, model umožňuje modifikovat výrobní parametry, poté sledovat chování systému bez rizika finanční ztráty na skutečné výrobní lince. Propojíme-li digitální model linky ke skutečnému systému pomocí senzorů, otevře nám to ještě další možnosti optimalizace výrobního systému. Hlavní výhodou tohoto procesu je to, že digitální dvojče shromažďuje a vyhodnocuje skutečný výrobní proces. Zajišťuje aktuálnost parametrů v simulaci, ale také dává možnost zasáhnout v případě, že proces nefunguje podle očekávání. [23]

Digitální dvojčata umožňují:

- Testování předpokladů o výrobním procesu za pomoci prediktivní analýzy
- Vizualizace chování zařízení v reálném čase [17,23]

## **1.8 Metodika tvorby digitálního dvojčete**

Vývoj digitálního dvojčete se skládá z několika kroků.

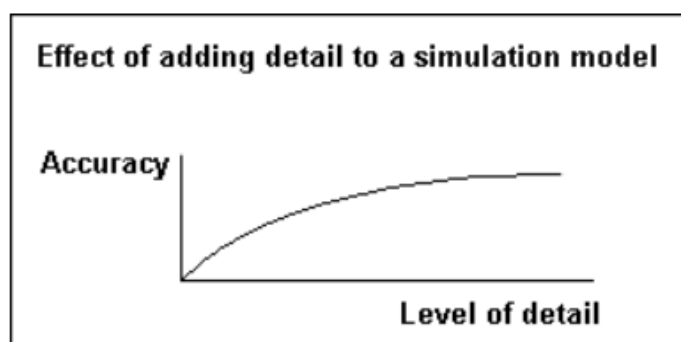
### **1.8.1 Stanovení cílů**

První fáze tvorby simulačního modelu je stanovení cílů. Cílem simulačního projektu je zlepšení a optimalizace daného procesu. Na základě stanovených cílů zvolíme obsah simulace, např. máme dva modely stejného procesu, které jsou postavené ze dvou odlišných důvodů. První model je vytvořen pro účel optimalizace produkce na výrobní lince, bude tedy obsahovat spíše podrobné informace o dostupnosti dílů a výrobním plánu

linky. Lidská práce v tomto případě nebude zohledněna. Druhý model je sestaven tak, aby určil optimální počet operátorů potřebných k provozování linky. Model tedy obsahuje informace o pracovních úkonech, odstávkách a směnách. V tomto případě může být plán výroby méně důležitý. [24]

### 1.8.2 Rozsah a úroveň detailů modelu

Rozsah nám určuje, kde model bude začínat a kde končit. Do modelu musí být zahrnuto alespoň nutné minimum podrobností potřebné k tomu, aby bylo dosaženo stanovených cílů. Na začátku modelování vedou i mále detaily k zvýšení přesnosti modelu. Jak se stává model podrobnějším, vliv detailů na přesnost modelu klesá (obr.7). Ve skutečnosti by se dalo argumentovat, že přidáváním zbytečných detailů by mohlo vést k případnému snížení jeho přesnosti. To platí zejména u modelování lidského chování, které je často nekonzistentní. [24]



Obrázek 7: Graf přesnosti v závislosti na detailech simulačního modelu

(Zdroj: 24. s. 12)

### 1.8.3 Sběr dat

Data potřebné k vytvoření virtuálního modelu dělíme:

- **Dostupná** – data jsou snadno dostupná a ve vhodném formátu, který může model okamžitě použít.
- **Nedostupná, ale lze je naměřit** – data jsou buď v nesprávném formátu, nebo úplně nedostupná. Musíme tyto data nasbírat (např. manuální měření určitých procesů)

- **Nedostupná, bez možnosti naměření** – data v současné době nejsou k dispozici a nelze je snadno naměřit (např. pro model továrny na zelené louce s novým strojním zařízením) [24]

Pokud jsou data nedostupná a nelze je ani nasbírat musíme použít odhad. Pro odhad můžeme použít:

- **Údaje výrobce** – výrobci často uvádějí informace (např. údaje o spolehlivosti) ve své propagační literatuře a specifikaci strojů.
- **Analýza citlivosti** – nahrazení neznámého parametru (např. doba strojového cyklu) vysokou hodnotou a nízkou hodnotou a porovnání výsledků celé simulace. [24]

#### 1.8.4 Strukturování modelu

Posledním krokem před vytvořením samotného simulačního modelu je jeho strukturování. Tím se určí nejobtížnější oblasti pro vytváření modelů a zdůrazní se veškeré dodatečné požadavky na data, které mohly být dosud přehlíženy (např. doba přesunu částí mezi jednotlivými procesy). Tato struktura má obvykle podobu skici. [24]

#### 1.8.5 Vytvoření modelu

Sestavení simulačního modelu probíhá postupně po fázích. Před postupem do každé další fáze se důkladně otestuje současný stav modelu. Tímto způsobem je snazší najít možné chyby v modelu, než kdybychom museli na konci prohledávat celý model. Hlavními kroky při vytváření modelu jsou vytvoření elementů (jejich definování, zobrazení a popis) a jejich propojení pomocí řídicích pravidel. [24]

#### 1.8.6 Testování modelu

Testování modelu má 2 části – **ověření** a **kontrola**.

- **Ověření** – zajišťuje, že model odpovídá našim očekáváním (např. díly se pohybují po správných trasách mezi elementy apod.)

- **Kontrola** – zkoumá přesnost modelu ve srovnání se skutečným světem (např. plán výroby součásti, průměrná úroveň nedokončené práce) [24]

Fáze ověření a kontroly mohou probíhat víckrát, dojde-li např. k přidání některých procesů, čímž se zvětší rozsah modelu. [24]

### **1.8.7 Experimentování**

Po otestování modelu a ověření, že jeho chování odpovídá skutečnému světu, můžeme experimentovat s tzv. „**what-if**“ scénáři. [24]

### **1.8.8 Dokumentace**

Po vytvoření modelu je dobré zdokumentovat, jakým způsobem byl model vytvořen, aby jej pak bylo snazší pochopit. [24]

## **1.9 WITNESS Horizon**

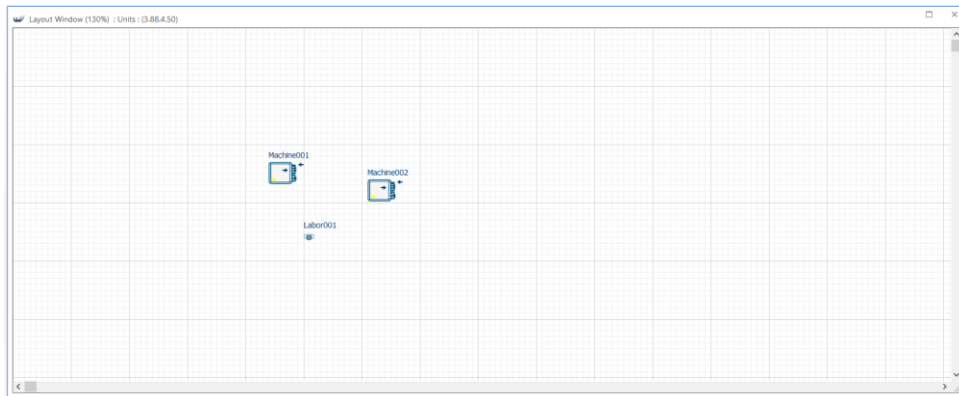
WITNESS Horizon od společnosti LANNER nám umožňuje rychle vyvíjet modely a simulace, které poskytují vzhled prostřednictvím dynamické vizualizace dat a svobodu testování možností ve virtuálním prostředí bez rizika. [25]

### **1.10 Modelování v programu WITNESS Horizon**

WITNESS model se skládá ze souboru elementů, spolu s řídicí logikou (pravidla a akce), které zajišťují, že model funguje stejným způsobem jako jeho protějšek v reálném světě. [24]

### **1.11 Modelovací okno**

WITNESS poskytuje velké plátno, na kterém lze zobrazit model, texty, grafiku, grafy atd. toto plátno se nazývá **virtuální obrazovka** (obr.8). [24]



**Obrázek 8: Modelovací okno WITNESS**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### **1.11.1 Element tree**

Element tree nám poskytuje strukturovaný přístup k prvkům v modelu. Můžeme jej využít pro:

- Vložení nových elementů
- Zobrazení okna s podrobnostmi jednotlivých elementů
- Přístup k nastavení zobrazení elementů [24]

V element tree lze vybrat několik prvků současně zaškrtnutím políček vedle těchto prvků. Takto si můžeme vygenerovat podrobné reporty (např. statistiky, shrnutí, náklady, výnosy, udržitelnost) pro vybrané prvky v modelu. [24]

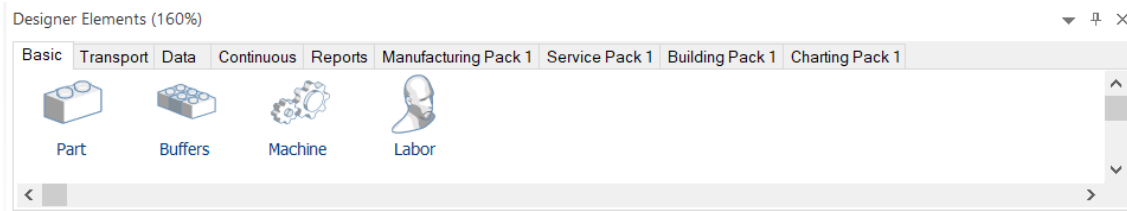
### **1.11.2 Model assistant**

Model assistant je rychlý přehled všech funkcí, pravidel a akcí, které lze do modelu zahrnout. [24]

### **1.11.3 Designer elements**

Okno designer elements obsahuje kolekci hotových elementů, které můžeme zkopírovat do vlastního modelu a poté modifikovat podle svých potřeb. Jednotlivé elementy se

stávají aktivními pouze tehdy, když jsou zkopírovány do modelu a propojeny s ostatními prvky v modelovacím okně (obr.9). [24]

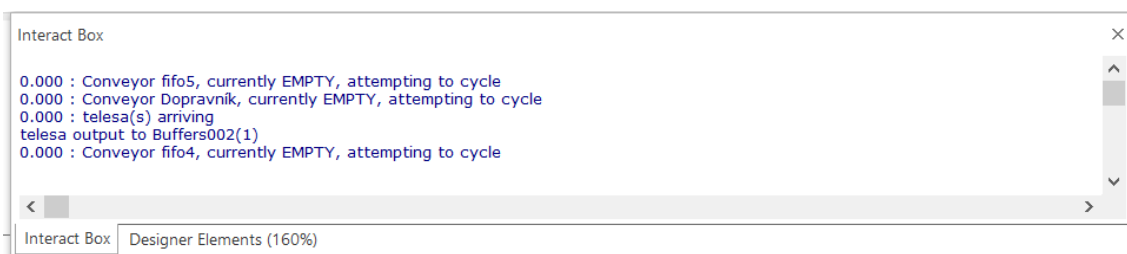


**Obrázek 9: Designer Elements**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

#### 1.11.4 Interact box

- Okno Interact box zobrazuje jakoukoliv interakci mezi námi a WITNESSEM během simulace. Může například obsahovat zprávy, které sledují provádění simulace při spuštění modelu v režimu „step by step“. Po zastavení simulace si můžeme zprávy zkopírovat do virtuální schránky nebo rovnou vytisknout (obr.10). [24]



**Obrázek 10: Interact Box**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

#### 1.11.5 Zobrazení času

Čas simulace si můžeme zobrazit pomocí analogových nebo digitálních hodin. Analogové hodiny mají dvanáct hodin a zobrazují hodiny, minuty a sekundy. Toto lze změnit v nastavení (obr.11). [24]



Obrázek 11: Zobrazení času

(Zdroj: Vlastní zpracování)

## 1.12 Elementy

V reálném životě společnosti zpracovávají věci (např. výrobky, kapaliny, telefonáty, zákaznky apod.) za pomoci strojů, dopravníků, vozidel a lidí. [24]

WITNESS používá stejnou kombinaci věcí k modelování procesů z reálného života. Každá komponenta modelu se nazývá **element**. Některé elementy představují fyzické věci (např. součásti, kapaliny, potrubí, vozidla, stroje, dopravníky a pracovní sílu), jiné představují nehmotné věci (např. směny, atributy, proměnné, distribuce a soubory) a některé představují grafy, které lze zahrnout do zobrazení modelu (např. časové údaje, histogramy nebo výšečové grafy). Mezi základní elementy, ze kterých se skládá model, patří: [24]

- **Part** (částice) – částice je něco co vstupuje do modelu, přesouvá se od elementu k elementu skrze model a poté opouští model. Částice a kapaliny jsou jediné prvky, které se tímto způsobem pohybují modelem. Mohou reprezentovat např. produkty, projekty, telefonáty, zavazadla na letišti apod. [24]
- **Buffers** (sklady) – sklad je element, který ukládá částice. Sklad nemůže zatáhnout částice dovnitř, musí je do něj poslat jiný element. U skladu lze použít pravidlo výstupu k vytlačení součásti, nebo si jiný element může součást ze skladu vytáhnout. [24]
- **Machine** (stroj) – stroj je prvek, který přijímá částice, zpracovává je a odešle na místo určení.



- **Labor** (práce) – práce je element, který představuje zdroj (např. nástroje nebo lidské operátory), které jsou vyžadovány jinými prvky pro zpracování, nastavení, opravu nebo čištění (obr.12). [24]



**Obrázek 12: Elementy**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### 1.12.1 Atributy elementů

Atributy elementu představují charakteristiku jednotlivého elementu. Lze například zadat atributy k charakterizaci barvy, velikosti, dovednosti, ceny, hustoty, napětí nebo sériového čísla. Atributy jednotlivých prvků mohou během simulace změnit svoji hodnotu. Například hodnota atributu barvy součásti může začínat na šedé a poté, co součást projde malířským strojem, se změní na červenou. [24]

### 1.12.2 Stavy elementů

Mnoho elementů mění svůj stav během simulace. Stroje mohou být například zaneprázdněny, nečinné nebo blokovány. Změny stavu prvků v modelu lze sledovat pomocí ikony stavu. Obvykle mají podobu malých políček, které mění barvu podle stavu prvku. [24]

## 1.13 Pravidla a akce

Po vytvoření modelu z elementů, je potřeba naprogramovat, jak mezi nimi proudí díly, kapaliny, vozidla a nosiče a jak je přidělena práce. K tomu nám slouží tzv. **pravidla**. Pravidla dělíme :

- **Input rules (vstupní pravidla)** – vstupní pravidla řídí tok částí nebo tekutin do elementu. Zahrnují také pravidla pro nakládání a plnění. [24]

- **Output rules (výstupní pravidla)** – výstupní pravidla řídí tok částic a tekutin z elementu. Zahrnují také pravidla pro připojení, vykládku, vyprazdňování, vstup nosiče. [24]
- **Labor rules (pracovní pravidla)** – pravidla práce umožňuje určit typ a množství práce, kterou potřebuje stroj, dopravník, trubka, procesor, nádrž, sekce nebo stanice k dokončení úkolu (např. čištění nádrže nebo nastavení stroje) [24]

Jednoduchá pravidla můžeme zadat a zobrazit směr toku pomocí tzv. **vizuálních pravidel**. Více komplexní pravidla zadáváme v editoru pravidel. [24]

WITNESS provádí **akce**, když se v modelu vyskytnou kritické události (např. část dorazí k elementu nebo stroj dokončí svůj cyklus) Tyto akce se nastavují u elementu v okně „detail“.

- **Initial actions (počáteční akce)** – akce, které jsou spuštěny, když spustíme model od času nula (např. nastavení hodnot pro proměnné) [24]
- **Immediate actions (okamžité akce)** [24]

## 1.14 Experimenty a optimalizace

WITNESS Horizon má svůj vlastní modul na provádění experimentů – WITNESS Experimenter. Tento modul umožňuje provádění experimentů s WITNESS modelem a zobrazování jejich výsledků pomocí tabulek a grafů. Zvolíme si parametry, které chceme měnit pro různé experimenty a definici klíčových výsledků, které chceme zobrazit. [24]

WITNESS Experimenter nabízí dva různé režimy:

- **Režim pro jednoduché experimenty** – umožňuje jednoduchou definici experimentálních scénářů. Parametry jsou vybírány z modelu, který má být změněn v každém scénáři. Lze určit odpovědi, které se zobrazí jako klíčové výsledky. Jednotlivé scénáře lze pojmenovat pro větší přehlednost. [24]
- **Režim pro pokročilé experimenty** – Lze definovat kombinace parametrů, které jsou spuštěny jako samostatné scénáře, nebo je definován algoritmus, který vybere, kterou z mnoha kombinací spustit. [24]

## 2 ANALYTICKÁ ČÁST PRÁCE

V analytické části nejdříve přiblížím závod Bosch Diesel s.r.o. v Jihlavě, popíšu historii závodu, organizaci tohoto podniku a kompetence jednotlivých oddělení. Po představení podniku následuje globální analýza hlavních a podpůrných procesů. Po globální analýze provedu detailní analýzu montážní linky pro zubová čerpadla GP 40, které se budu věnovat v návrhové části. K analýze podniku jsem využil informací a dat, poskytnutých společností Bosch Diesel s.r.o.

### 2.1 Představení společnosti Bosch Diesel s.r.o.

- Název: BOSCH DIESEL s.r.o.
- IČO: 46995129
- Základní kapitál: 150 000 tis. Kč
- Sídlo: Pávov 121, 586 01 Jihlava
- Právní forma: Společnost s ručením omezeným
- Datum a vznik zápisu: 4. ledna 1993
- Hlavní předmět podnikání: Výroba součástí motorových vozidel [26]

Jihlavský závod společnosti Bosch Diesel s.r.o. byl založen v roce 1993. Postupem času se rozrostl ze 160 zaměstnanců na 4000 a řadí se mezi největší zaměstnavatele na Vysočině. V Jihlavě se nachází celkem tři výrobní závody. Mezi hlavní výrobky patří tlakové regulační ventily, vysokotlaké zásobníky tzv. raily a vysokotlaká vstřikovací čerpadla. Mezi hlavní hodnoty společnosti Bosch patří orientace na budoucnost a výnos, odpovědnost, iniciativa a důslednost, otevřenost a důvěra, slušnost a v neposlední řadě kulturní rozmanitost (obr. 13). [27]

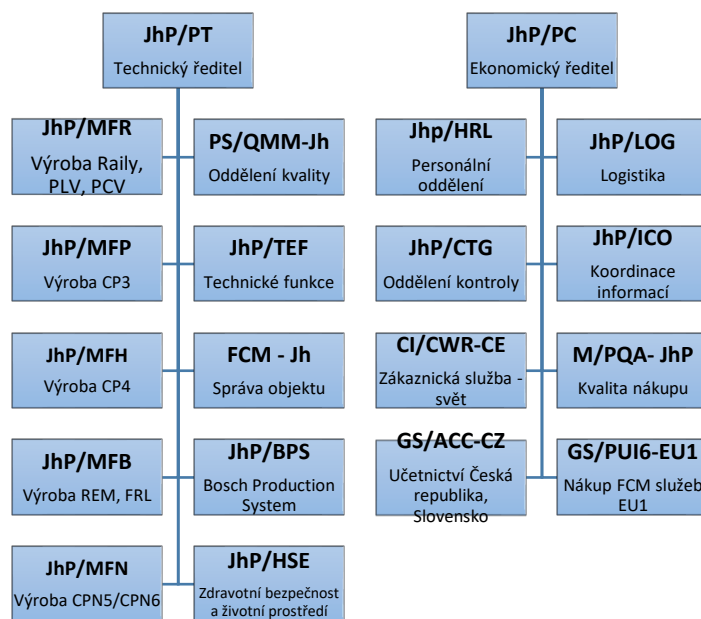


**Obrázek 13: Závod na Pávově**

(Zdroj: 24)

### **2.1.1 Organizační struktura**

Výrobní závod v Jihlavě se dělí na dva úseky – technický a ekonomický. Technický ředitel má na starosti výrobní úseky, BPS oddělení, oddělení kvality, údržby a správy dokumentace. Druhý ředitel vede ekonomické záležitosti podniku. Do jeho kompetencí tedy spadají oddělení lidských zdrojů, logistika, kontrola, koordinace informací, oddělení nákupu a účetní oddělení (obr.14). [29]

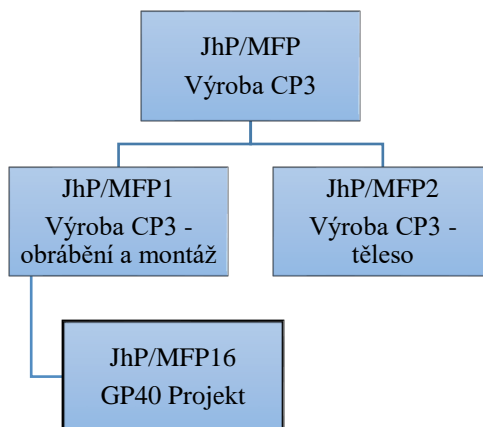


**Obrázek 14: Organizační struktura Bosch Diesel s.r.o.**

(Zdroj: Vlastní zpracování dle organigramu společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

### **JhP/MFP – Výrobní oblast CP3**

Výroba CP3 se nachází v Jihlavském závodě III. (Pávov) v halách 301 a 310. Výroba tohoto čerpadla zde probíhá již od roku 2010. Jihlava je v rámci Bosche jediný závod, který toto čerpadlo vyrábí. Od září 2019 pod toto oddělení spadá i výroba zubového čerpadla GP40, které se v bakalářské práci budu věnovat (obr.15).



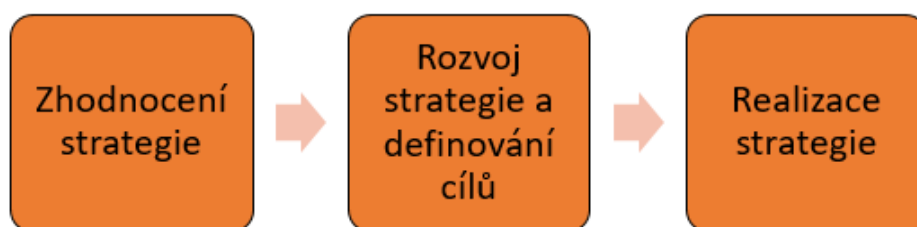
**Obrázek 15: Organizační struktura výrobního úseku CP3**

(Zdroj: Vlastní zpracování dle organigramu společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

## 2.2 Globální analýza procesů

Tato část se zabývá analýzou řídicích, hlavních a podpůrných procesů ve společnosti. Tyto procesy jsou hodnoceny, řízeny a zlepšovány skrze indikátory KPI a KPR.

JhP VMS (vize, mise, strategie) udávají směr pro obchodní plán a dosažení cíle. Na obrázku níže vidíme aktivity, tzv. **řídicí procesy** pro společnost Bosch Diesel s.r.o... Mezi ně patří zhodnocení strategie, rozvoj strategie a definování cílů a realizace strategie (obr.16).



Obrázek 16: Řídicí procesy ve firmě

(Zdroj: Vlastní zpracování dle intranetu společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

**Hlavní procesy** v podniku jsou takové procesy, které přidávají hodnotu pro zákazníka. Ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. je můžeme rozdělit na tři části: vyvíjení a správa produktů, příprava sériové výroby a plnění objednávek (obr. 17). [28]



Obrázek 17: Hlavní procesy

(Zdroj: Vlastní zpracování dle intranetu společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

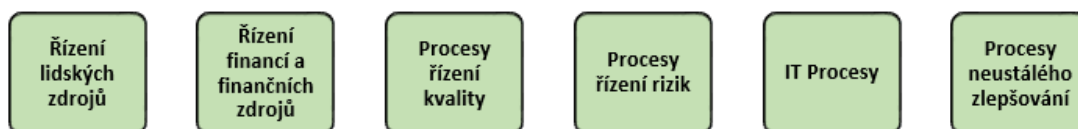
Celý průběh procesu od příjmu objednávky až po expedici objednávky, je důkladně popsán v dokumentech JhP-PP-041 Plánování, zásobování a řízení výroby, PNPI-208.01 Fulfill Orders (Plan, Source, Make, Deliver), CD 80007 CD-CP07 Logistics Management.

Pracovník zodpovědný za plánování produktu, na základě objednávky od zákazníka, vloží potřeby do systému v horizontu 12 měsíců a prověří, zda je k dispozici dostatek kapacity. V případě dostatečné kapacity dochází k potvrzení objednávky v systému. V případě nedostatečné kapacity iniciuje interní/externí zvýšení kapacity. Potvrzené objednávky jsou základem pro proces plánování výroby. Zpracování objednávek probíhá v systému SAP. [29]

Výrobní plán se připravuje pro jednotlivé výrobky a jejich komponenty na základě stavu skladu, objednávek a kapacity. Zohledňuje např. předstih výroby při odstávce linek během dovolených nebo vykrytí špičky v potřebě zákazníků. Výrobní plán, který je zadaný do systému, slouží jako podklad pro objednávání komponentů a plánování lidských zdrojů. Další kroky, zajištění komponentů a lidských zdrojů mohou být zahájeny současně. V plánech se automaticky stanovují požadavky na zajištění komponentů na základě kusovníku a množství ve výrobních plánech. Komponenty jsou objednávány od interních nebo externích dodavatelů. Výroba je řízena výrobním plánem. Výrobky se na konci výrobní linky zabalí a jsou připraveny k dodání k zákazníkovi. Pro případ výpadku (např. odstavení linky, porucha stroje, nízká kapacita lidských zdrojů) jsou vypracovány záložní plány, které zajišťují splnění požadavků zákazníků. Hotové výrobky jsou transportovány z jednotlivých závodů do skladu hotových výrobků, kde jsou uskladněny a následně exportovány k zákazníkům. Pro veškerou organizaci a evidenci dopravy se využívá software SAP a TMS (Transport Management System). V informačních systémech je určeno, kam a kdy se má transport uskutečnit. Pracovník logistiky nebo zákazník určí přepravní společnost. Polotovary nebo hotové výrobky se odesílají s příslušnou dokumentací. [29]

Mezi tzv. **podpůrné procesy** řadíme takové procesy, jejichž jediný účel je podpora hlavních procesů. Jedná se tedy např. o řízení lidských zdrojů, řízení financí a finančních

zdrojů, procesy řízení kvality, procesy řízení rizik, IT procesy, procesy neustálého zlepšování apod. (obr. 18) [30]



**Obrázek 18: Podpůrné procesy**

(Zdroj: Vlastní zpracování dle intranetu společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

## 2.3 Detailní analýza montážní linky GP 40

V detailní analýze se zaměřím na montážní linku zubových čerpadel GP 40, pro kterou budu vytvářet digitální dvojče. Na montážní lince se nachází celkem 7 stanic. Obrázek 18 znázorňuje průběh montáže. Montážní linka vyrábí celkem tři typy zubového čerpadla GP 40. Obrábění včetně montážní linky se nachází v Jihlavě na Pávově v hale 301. Veškerá data z výroby jsou v analytické a návrhové části bakalářské práce zkráceny, kvůli možnému zneužití dat.

### 2.3.1 Zubové čerpadlo GP40

Výroba zubového čerpadla GP40 byla v Jihlavě zahájena v roce 2019 na podzim, doposud výroba těchto součástí probíhala pouze v Itálii v Bari. Zubové čerpadlo je jedním z komponentů do čerpadel CP4. Čerpadlo se skládá z tělesa, dvou ozubených kol, o-kroužku a unašeče (obr. 19). [29]





**Obrázek 19: Zubové čerpadlo GP40**

(Zdroj: Intranet společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

### 2.3.2 Výrobní proces zubového čerpadla GP40

Před vstupem na samotnou montážní linku prochází jednotlivé komponenty, tzn. těleso a ozubená kola procesy, které jsou znázorněny na obrázku v přílohách bakalářské práce (příloha 3). Těleso zubového čerpadla GP40 prochází v závodě JhP přes čtyři operace (obrábění, měření, mytí/odjehlení, vizuální kontrola), poté je odesláno do Itálie, kde je poniklováno a odesláno zpět do Jihlavy, kde následuje vizuální kontrola a pak jde na montážní linku. Ozubená kola před tím, než jsou poslána na montážní linku, prochází přes broušení, měření, kartáčování, mytí a vizuální kontrolu. Montážní linka, které se budu věnovat podrobně je na obrázku v přílohách znázorněna červeně (příloha 3). [29]



**Obrázek 20: Výroba zubového čerpadla GP40**

(Zdroj: Intranet společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

### 2.3.3 Montážní linka GP 40

Montážní linka zubového čerpadla GP 40 se skládá ze 7 stanic – vkládání na přepravník, párování těles s ozubenými koly, vkládání ozubených kol do tělesa, test těsnosti a

protáčení, funkční test, data matrix a kompletace. Na obrázku v přílohách práce (příloha 2) vidíme náčrt linky. Na pracovišti pracují dva operátoři – první na St. 30 vkládá ozubená kola a gumičku do tělesa a druhý operátor provádí na st. 70 kompletaci a vizuální kontrolu. Kompletace čerpadla je znázorněna na obrázku 20.

## **2.4 Stanice na lince**

Tato kapitola se věnuje popisu jednotlivých pracovních stanic a pracovních činnostech, které se na těchto stanicích provádí. Fotky jednotlivých pracovních stanic se nachází v přílohách práce.

### **2.4.1 St. 10 Vkládání na přepravník**

Na stanici 10 robot bere jednotlivá tělesa zubového čerpadla ze zásobníků a vkládá je na přepravníky. Každý zásobník obsahuje 16 těles. Zásobníky s tělesy jsou automaticky doplňovány. Dále je zde ověřena správná pozice tělesa a pokud je vše v pořádku je těleso odesláno na stanici 20.

### **2.4.2 St. 20 Párování těles a ozubených kol**

Na stanici č. 20 dochází k přeměření rozměrů tělesa a následnému určení, jaká velikost ozubených kol bude do tělesa vložena. Nejprve jsou měřeny rozměry pro primární ozubené kolo a poté rozměry pro sekundární ozubené kolo. Těleso je následně odesláno na stanici 30.

### **2.4.3 St. 30 Vložení ozubeného kola do tělesa**

Operátor vkládá dvě ozubená kola ze zásobníku a gumičku do tělesa. Ozubená kola jsou vybrána automaticky a jsou označena světelnou signalizací. Jednotlivé zásobníky v sobě mají 30 ozubených kol. Pokud v zásobníku ozubená kola dojdou, operátor musí ručně zásobníky vyměnit. Po vložení ozubeného kola operátor stiskne zelené tlačítko, které zapne automatickou kamerovou kontrolu a odjezd přepravníku k další stanici.

#### **2.4.4 St. 40 Test těsnosti a protáčení**

Na stanici 40 je prováděn test těsnosti zubového čerpadla a test protáčení zubových kol. Nejprve je provedena zkouška těsnosti. Robot uchopí zubové čerpadlo z převozníku a vloží ho do přístroje, který otestuje, jestli je čerpadlo dostatečně těsné a nepropouští vzduch, poté je odesláno k druhému přístroji, který testuje bezproblémové otáčení zubových kol. Následně je těleso odesláno na dopravník a do stanice 50.

#### **2.4.5 St. 50 Funkční test**

Na stanici 50 probíhá funkční test. Za pomoci kapaliny je těleso otestováno z hlediska propustnosti.

#### **2.4.6 St. 60 Data matrix**

Na stanici 60 je zubové čerpadlo označeno značícím laserem. Po označení proběhne kontrola správnosti tohoto označení. Při správném označení je zubové čerpadlo posláno na kompletaci a vizuální kontrolu.

#### **2.4.7 St. 70 Kompletace a St. 80**

Operátor na stanici 70 provádí kompletaci zubového čerpadla a poté vizuální kontrolu. Operátor vloží do primárního ozubeného kola unašeč, poté vyjme čerpadlo z přepravníku, zkontroluje, jestli nevytéká zbytková kapalina a odkládá zkontrolovaný díl na další pracoviště. Mezi necyklické činnosti na tomto stanovišti patří doplnění spodního a vrchního unašeče v případě jejich nedostatku.

### **2.5 Analýza současného stavu**

Tato kapitola se zabývá analýzou současného stavu.

#### **2.5.1 Pracovní doba**

Na montážní lince probíhá výroba ve dvousměnném provozu, při kterém se střídá ranní a odpolední směna. Čistá pracovní doba je 435 minut na směnu.

### 2.5.2 Naměřená data

V tabulce 1, jsou uvedeny časy jednotlivých stanic naměřených při běžném provozu.

**Tabulka 1: Naměřené doby cyklu**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Stanice	10	20	30	40	50	60	70	80
CT [s]	15	24,45	15,6	27,15	27,75	16,35	14,85	10,35

Při měření na lince pracovali tři operátoři – na stanicích 30, 70 a 80. V tabulce 2 je uvedena jejich vytíženost.

**Tabulka 2: Vytížení operátorů**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Operátor	Stanice 30	Stanice 70	Stanice 80
Vytíženost [%]	53	49	34

### 2.5.3 VSM montážní linky

Value stream mapa nám zobrazuje aktuální stav hodnotového toku na montážní lince. Průběžná doba výroby je v současné době 0,5h bez zásob a 27,8h se zásobami. Maximální výše zásob před stanicí 10 je 384 kusů

### 2.5.4 Analýza úzkého místa

Úzké místo vždy definují CT a OEE. Pro analýzu úzkého místa použijí data z výroby uvedené v tabulce 1 z kapitoly 2.5.2 „Naměřená data“. Úzké místo určíme podle délky trvání jednoho cyklu – stanice s nejdelším cyklem nám zpomaluje celý proces výroby, protože na ni ostatní stanice musí čekat a vznikají nám prostoje. V našem případě to bude stanice 50, která má dobu trvání jednoho cyklu 27,75 sekundy. Druhá nejpomalejší stanice je stanice 40, která má dobu trvání jednoho cyklu 27,15 sekund.

## 2.5.5 OEE linky s prostoji

Na obrázku 27 je zobrazeno OEE montáží linky. Osa x zobrazuje jednotlivé dny ve měsíci a osa y zobrazuje procenta (obr. 21).



Obrázek 21: OEE linky s prostoji

(Zdroj: Vlastní zpracování dle intranetu společnosti Bosch Diesel s.r.o.)

## 2.6 Zhodnocení analytické části

V analytické části byla nejprve popsána společnost Bosch Diesel, s.r.o. a byla provedena globální analýza této společnosti. Poté jsem se zaměřil na montážní linku GP40 – provedl jsem detailní analýzu linky tzn. analýzu jednotlivých stanic, pracovních úkonů na lince a toku materiálu. Při analýze současného stavu jsem se zaměřil hlavně na vytíženost jednotlivých operátorů a nalezení a ověření úzkého místa. Po provedení analýzy současného stavu lze konstatovat, že tři operátoři jsou na lince neefektivní, a proto se v návrhové části budu zabývat tvorbou scénářů, které budou hledat optimální počet operátorů na lince.

## 3 NÁVRHOVÁ ČÁST

V analytické části byl detailně popsán výrobní proces na montážní lince zubového čerpadla GP40. Veškeré činnosti a charakteristiky byly získány od společnosti Bosch Diesel s.r.o. nebo pozorováním reálného provozu montážní linky. Náplní této části práce bude návrh změn na montáži lince, aby došlo k vyvážení taktu linky a zároveň rovnoměrnému vytížení operátorů na lince. Pro řešení je vytvořen dynamický simulační model, který přesně odpovídá reálnému chodu linky (digitální dvojče), který je dále využit pro experimenty a výběr ideálního řešení s ohledem na zvolené kritéria.

### 3.1 Definování problému

Hlavní problém na montážní lince je stanice 50 – funkční test, která tvoří úzké místo a vyrobení dobrého kusu zde trvá ze všech pracovišť nejdelší dobu. Je to způsobeno dlouhým časem jednoho cyklu, který trvá 27,75 sekundy. Stanice 40, která je druhá nejpomalejší má čas jednoho cyklu 27,15 sekundy. Ostatní pracoviště musí na tyto dvě pracoviště čekat a vznikají tak prostoje. Po dohodě se zaměstnanci společnosti Bosch Diesel s.r.o. bude návrhová část věnována především vytížení operátorů a otestování scénářů s různými počty pracovníků.

### 3.2 Metodika řešení

Při tvorbě simulačního modelu jsem se řídil metodikou tvorby simulačních modelů, která se skládá z těchto kroků:

- Formulace základních problémů
- Stanovení konkrétních cílů
- Zvolení koncepce pro tvorbu simulačního modelu
- Sběr a analýza dat
- Tvorba simulačního modelu
- Verifikace a validace modelu

- Tvorba simulačních experimentů

Jednotlivé kroky jsou podrobně popsány v kapitole 1.8. „*Metodika tvorby digitálního dvojčete*“ v teoretické části práce.

### **3.3 Stanovení konkrétních cílů**

Cílem experimentů bylo nalezení optimálního řešení v počtu operátorů na lince, aby byli optimálně vytíženi a zároveň nedošlo ke snížení počtu vyrobených kusů. Vytíženost operátorů je porovnávána s naměřenou vytížeností z kapitoly 2.5.2. Hlavní metriky, které sledují jsou:

- Procento vytížení jednotlivých operátorů
- Počet vyrobených kusů
- Vytížení strojů

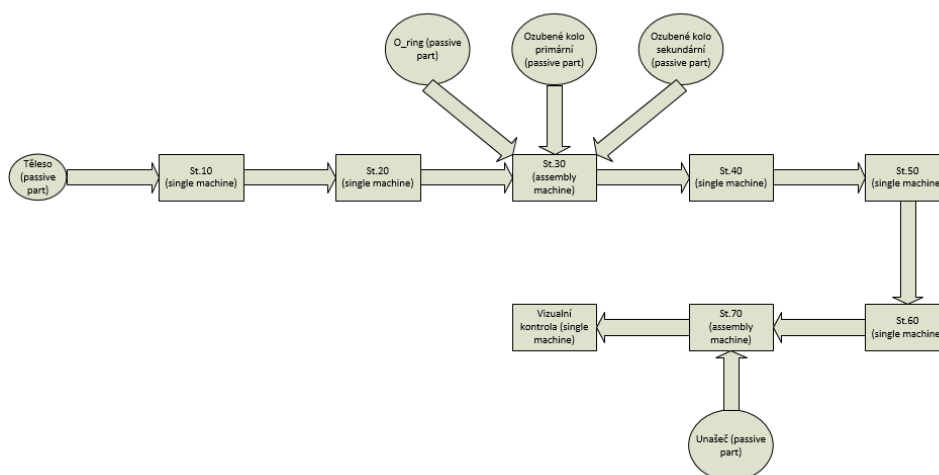
### **3.4 Tvorba modelu**

V této části jsou popsány jednotlivé kroky při tvorbě modelu.

#### **3.4.1 Koncept modelu**

Před zahájením samotné práce v simulačním programu WITNESS Horizon bylo nejprve potřeba udělat tzv. koncept modelu (obr. 22). Koncept modelu nám slouží k usnadnění následné práce v programu. Obvykle má podobu skici, která vyobrazuje, které elementy budou použity na jednotlivé prvky výrobního procesu (výrobní stroje, materiály a přepravu materiálů na lince). Model obsahuje šest elementů typu Part. Všechny elementy typu part jsou nastaveny na příchod pasive tzn. vstupují do modelu pouze v případě potřeby. Toto nastavení bylo zvoleno, protože nebude brán ohled na stav zásob. Nejdůležitější část modelu tvoří jednotlivé stroje, kterými zubové čerpadlo prochází. Šest stojů má nastavený typ stroje na Single Machine, což znamená, že v určitý moment může zpracovávat pouze jednu část, zbylé dvě stanice jsou tzv. Assembly machine – přijme několik součástí naráz a spojí je dohromady. V tomto modelu se jedná o stanici 30, ve

které se spojují komponenty těleso, ozubená kola a gumička a stanici 70, kde se do GP40 přidává unašeč.



**Obrázek 22: Koncept modelu**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### 3.4.2 Sběr dat

Pro vývoj simulačního modelu je sběr dat kritickým krokem, který zajišťuje, že model bude odpovídat realitě. Pro simulaci výrobní linky bylo potřeba zjistit zejména časy cyklů jednotlivých výrobních stanic, časy vstupů materiálů do výroby a doby přesunu výrobku mezi jednotlivými stanicemi. Dále bylo potřeba zjistit celkový počet kusů v naplněné lince pro porovnání s modelem. Sběr dat probíhal ve dvou krocích.

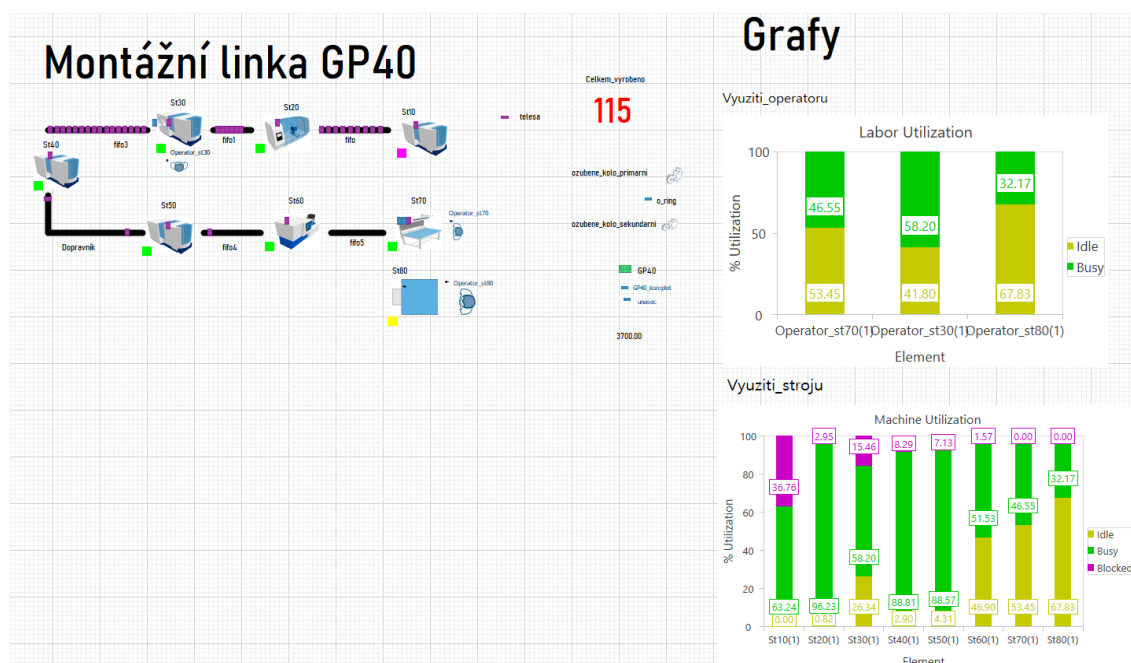
- 1. krok – data poskytnutá od společnosti Bosch Diesel s.r.o.
- 2. krok – měření skutečných časů a ostatních dat přímo ve výrobě a jejich porovnání s daty poskytnutými společností

Měření jednotlivých časů probíhalo na každé stanici u dvaceti výrobků a následně určení jejich průměru. Data se musí každé tři měsíce přeměřit, protože může dojít k jejich změně kvůli přetaktování linky, nebo seřízení některého ze strojů. Veškerá naměřená data využitá k tvorbě simulačního modelu jsou zaznamenána v kapitole 2.5.2 „*Naměřená data*“ v analytické části.



### 3.4.3 Tvorba simulačního modelu

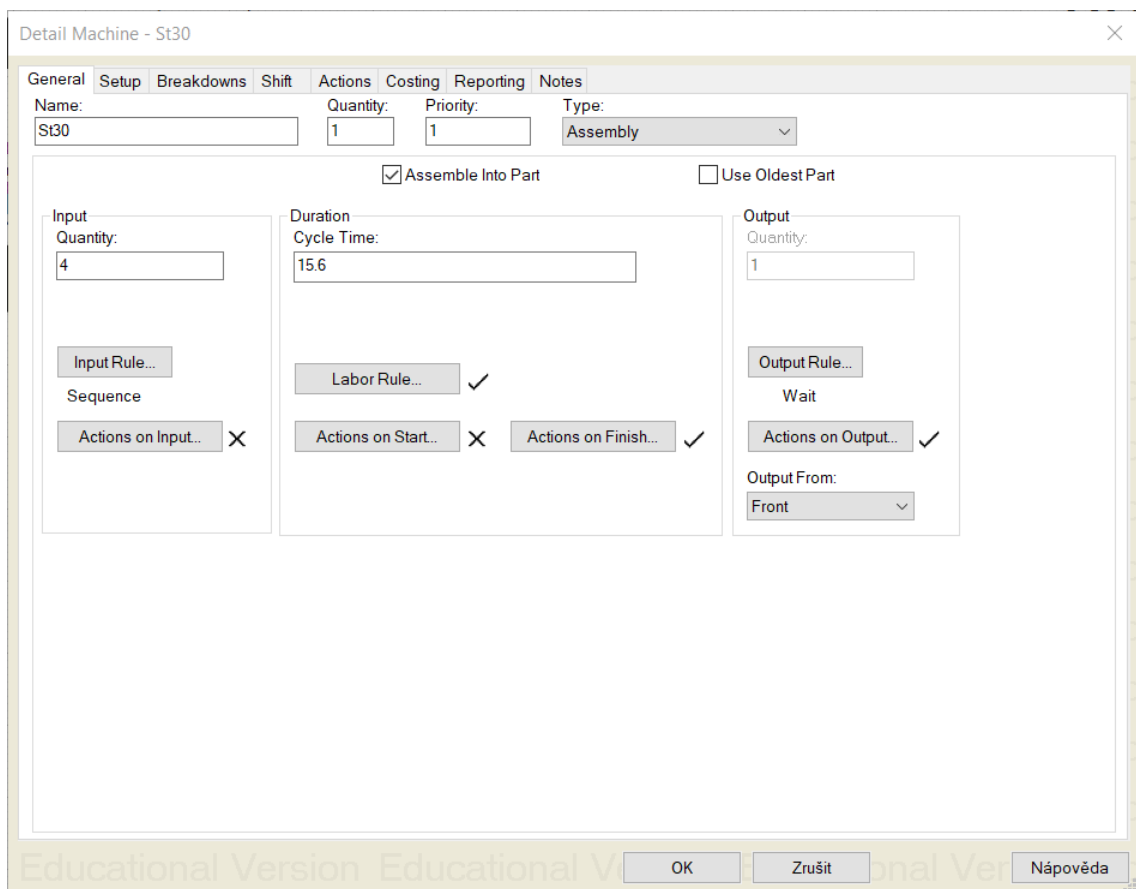
Na obrázku 23 níže je zobrazena vizualizace simulačního modelu. Nalevo je samotný model, který se skládá z jednotlivých stanic a dopravníků. Červené číslo uprostřed ukazuje počet vyrobených kusů. Do modelu jsem přidal dva grafy – jeden zobrazuje vytíženost jednotlivých strojů, osa y reprezentuje simulační čas v procentech a osa x potom jednotlivé stanice. Vrchní graf zobrazuje vytížení operátorů, kdy osa y představuje čas v % a osa x jednotlivé operátory.



**Obrázek 23: Simulační model**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Jelikož jsou u většiny stanic a dopravníků použity pouze jednoduchá vizuální pravidla, popíšu pouze podrobně postup při nastavování stanice 30. U dalších podobných elementů budu popisovat pouze v případě, že je u nich řešený nějaký konkrétní problém. Nejprve jsem si do modelovacího okna přesunul všechny elementy, které se ve výrobním procesu nachází. Tyto elementy jsem si pojmenoval a v dialogovém okně DETAIL (obr. 24) jim definoval níže popsané charakteristiky.



**Obrázek 24: Dialogové okno DETAIL v programu WITNESS HORIZON**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

**NAME** = jméno elementu

**QUANTITY** = 1–u všech elementů bude 1, protože se ve výrobním procesu nachází pouze jednou

**PRIORITY** = toto nastavení nás zajímá v případě, že přidělený operátor pracuje na více strojích a vybírá si stroj podle čísla priority. Priorita 1 je nejvyšší priorita, stroj si tak zavolá pracovníka hned jak bude potřeba.

**TYPE** = ASSEMBLY – na stanici 30 operátor vkládá dvě ozubená kola a gumičku do tělesa.

**CYCLE TIME** = 15,6 s – doba jednoho cyklu

**INPUT, OUTPUT** = do stroje vstupují čtyři součásti – dvě ozubená kola, gumička a těleso a na výstupu jsou spojeny v jeden prvek

**INPUT RULE** =

SEQUENCE /Wait fifo1(1) at Front#(1),

ozubene\_kolo\_primarni out of WORLD#(1),

ozubene\_kolo\_sekundarni out of WORLD#(1),

o\_ring out of WORLD#(1)

Definuje akci, kdy si stroj bere součásti z předchozího stroje a tzv. „*out of WORLD*“ což znamená že si je model bere z virtuálního zásobníku programu.

Těmito nastaveními definujeme, že operátor na stanici 30 vezme čtyři různé součásti a každých 15,6s je spojí a udělá z nich jednu součást. Definování položky LABOR RULE slouží k přiřazení operátora ke stroji.

U ostatních elementů jsou využity vizuální pravidla PULL, PUSH pro zajištění toku materiálu s výjimkou stanice 70 u které je na vstupu použito toto pravidlo:

SEQUENCE /Wait fifo5(1) at Front# (1),

unasec out of WORLD# (2)

Na stanici 80 je použito jako výstupní pravidlo PUSH to SHIP. V modelu se dále nachází dva grafy – jeden zobrazuje vytížení jednotlivých stanic a druhý vytížení operátorů. Pro výpočet vyrobených kusů je použita proměnná s názvem „Celkem\_vyrobeno“. Vyrobené kusy se počítají na stanici 80, kde je v záložce „Actions on Finish“ použito pravidlo „Celkem\_vyrobeno = Celkem\_vyrobeno + 1“.

### 3.4.4 Validace a verifikace modelu

Po vymodelování simulačního modelu musíme provést jeho verifikaci a validaci. **Verifikací** rozumíme kontrolu správnosti simulačního modelu tzn. ověření, jestli se model chová jako reálný stav např. tok materiálu. **Validace** je kontrola shody mezi výsledkem ze simulace a reálné linky. Validace a verifikace simulačního modelu patří k jedním z nejdůležitějších kroků při tvorbě simulačního modelu. [24]

Verifikace i validace simulačního modelu proběhla přímo na montážní lince pomocí KPI indikátorů. Zvolené indikátory byly počet vyrobených kusů za hodinu, pozorování toku a blokáce materiálu v lince (ověření úzkého místa) a vytíženost jednotlivých operátorů. Z pozorování bylo ověřeno, že se simulační model chová stejně jako reálná linka a počet vyrobených kusů za hodinu měření byl 113, v nasimulované hodině ve WITNESSu potom 115. Lze tedy konstatovat, že simulační model s dostatečnou přesností odpovídá skutečnosti. Verifikace a validace modelu byla provedena v plném stavu linky tzn. tři operátoři na stanici 30,70 a 80.

### 3.4.5 Výchozí stav simulace

Plný stav linky, kdy pracují tři operátoři je považován za výchozí stav linky a budou s ním porovnávány všechny navržené scénáře, protože byl otestován a validován přímo na montážní lince. Při tomto provozu linka vyprodukuje 872 kusů za směnu (obr. 26). Vytížení operátorů a strojů je vidět na obrázku 25 a 27. Hlavní indikátory, které budou porovnávány jsou počet vyrobených kusů za směnu a vytížení jednotlivých operátorů.

### Machine Statistics Report by On Shift Time



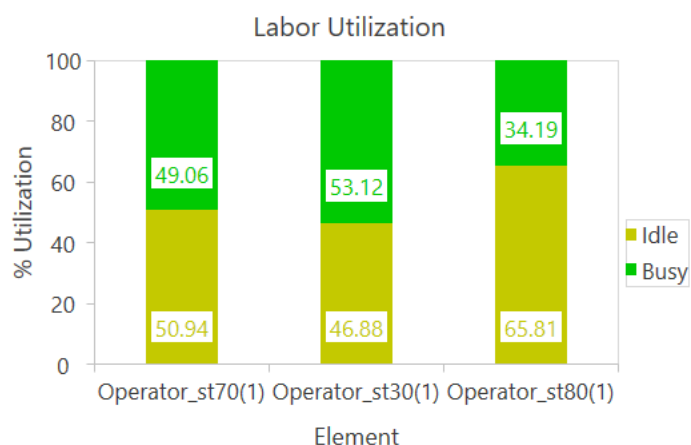
Obrázek 25: Vytížení strojů – plný stav

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time	Sigma Rating
unasec	1746	1744	0	0	0	2	1.67	25.18	6.00
telesa	918	0	0	899	0	19	18.52	532.55	6.00
GP40	899	0	0	872	0	27	24.19	710.43	6.00
ozubene_kolo_primarni	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
ozubene_kolo_sekundarni	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
o_ring	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
GP40_komplet	872	872	0	0	0	0	0.34	10.35	6.00

Obrázek 26: Počet vyrobených kusů – plný stav

(Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek 27: Vytížení operátorů – plný stav

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z grafu na obrázku 27 můžeme vidět, že 3 operátoři na lince jsou neefektivní. Nejvíce vytížený je operátor na stanici 30 a i tak pracuje pouze v 53,12 % z celkového času. Nejvíce blokována je stanice 30, protože stanice 40 a 50, které jsou hned po ní mají časy cyklu 27,15s a 27,75s, tudíž stanice 30 a operátor, který na ní pracuje musí čekat, než tyto stanice dokončí svůj cyklus a vznikají tak nežádoucí prostoje.

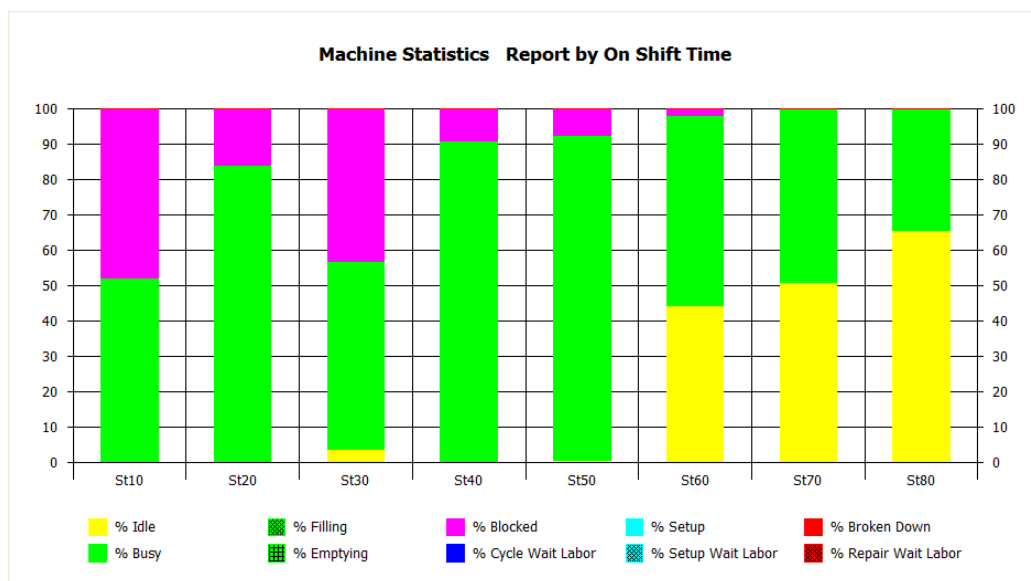
### **3.5 Návrh experimentů s modelem**

Po verifikování a validování modelu je možné začít provádět tzv. experimenty. Jedná se o navržení různých scénářů za účelem optimalizace linky. Návrhová část se bude zabývat čtyřmi scénáři. Za výchozí stav linky bude považován plný stav tzn. tři pracovníci na stanicích 30, 70 a 80. U každého scénáře bude od simulována jedna směna tzn. 435 minut čistého času. Z výše uvedeného textu vyplývá, že budou představeny tyto čtyři různé experimenty:

- Na lince pracují 2 operátoři – jeden obsluhuje stanici 70 a druhý přechází mezi stanicí 80 a 30.
- Linku obsluhuje jeden operátor, který přechází mezi stanicemi
- Na stanici 30 je přidán robot
- Stanice 80 je odstraněna

#### **3.5.1 Experiment 1**

V prvním experimentu budou na lince pouze 2 operátoři. Jeden pracující na stanici 70 a druhý, který bude přecházet mezi stanicemi 30 a 80.



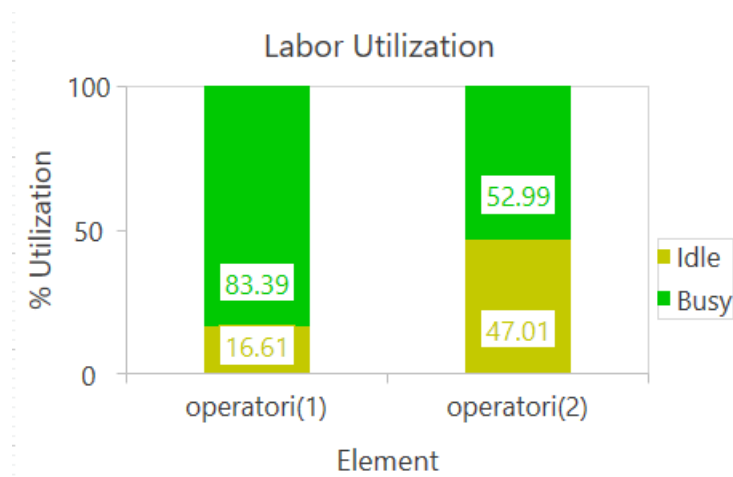
**Obrázek 28: Vytížení strojů – experiment 1**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time	Sigma Rating
unasec	1746	1744	0	0	0	2	1.67	25.18	6.00
telesa	918	0	0	899	0	19	18.52	532.55	6.00
GP40	899	0	0	872	0	27	24.19	710.43	6.00
ozubene_kolo_primarni	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
ozubene_kolo_sekundarni	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
o_ring	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
GP40_komplet	872	872	0	0	0	0	0.34	10.35	6.00

**Obrázek 29: Počet vyrobených kusů – experiment 1**

(Zdroj: Vlastní zpracování)



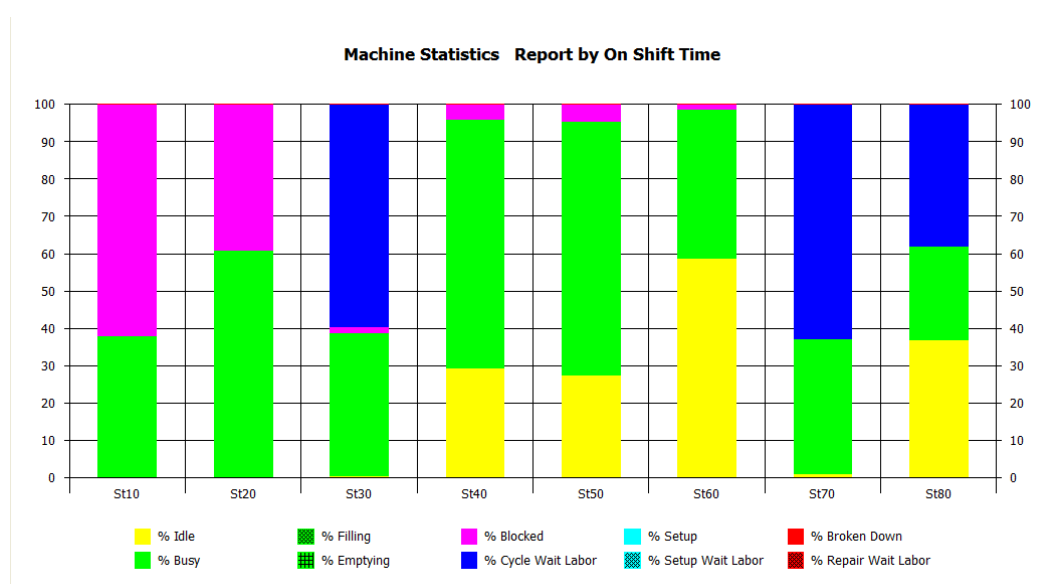
**Obrázek 30: Vytížení operátorů – experiment 1**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z grafů na obrázku 30 je patrné, že snížení počtu operátorů na 2 došlo k zvýšení hodnoty využití operátora, který pracuje na stanici 80 a 30. I přes snížení počtu operátorů linka vyprodukuje stejný počet kusů jako při obsazení třemi operátory (obr. 29). Cesta snížení operátorů tedy vede k zefektivnění výroby na lince, ale i v tomto případě je jeden z operátorů efektivní pouze v polovině svého času. Další experimenty se tedy budou zabývat scénáři, kdy na lince pracuje pouze 1 operátor, popřípadě co se stane, pokud přidáme na stanici 30 robota anebo z procesu odstraníme stanici 80, kde je prováděna vizuální kontrola.

### 3.5.2 Experiment 2

Z prvního experimentu, je patrné, že snížení operátorů mělo pozitivní vliv na jejich celkovou efektivitu. Ve druhém experimentu bude simulován scénář, kdy je na lince pouze jeden operátor, který se přesouvá mezi stanicemi 30, 70 a 80.



Obrázek 31: Vytížení strojů – experiment 2

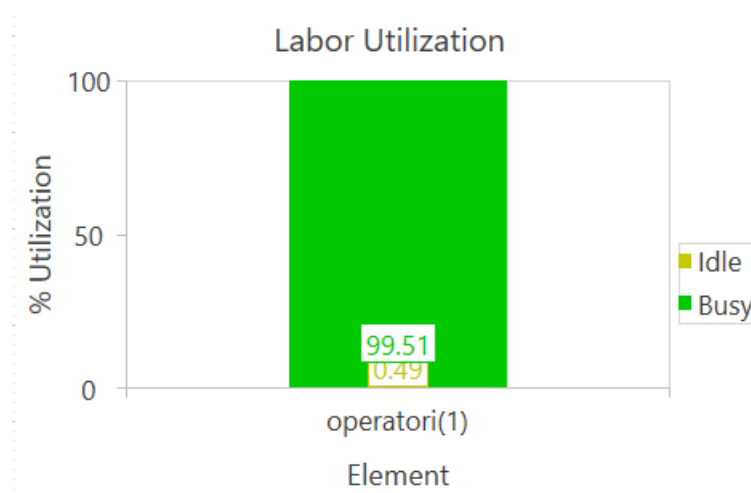
(Zdroj: Vlastní zpracování)



Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time	Sigma Rating
unasec	1252	1250	0	0	0	2	3.24	66.64	6.00
telesa	652	0	0	632	0	20	19.76	780.29	6.00
GP40	632	0	0	625	0	7	6.58	268.02	6.00
ozubene_kolo_primarni	633	0	0	625	0	8	7.56	307.36	6.00
ozubene_kolo_sekundarni	633	0	0	625	0	8	7.56	307.36	6.00
o_ring	633	0	0	625	0	8	7.56	307.36	6.00
GP40_komplet	625	625	0	0	0	0	0.63	25.95	6.00

**Obrázek 32: Počet vyrobených kusů – experiment 2**

(Zdroj: Vlastní zpracování)



**Obrázek 33: Vytížení operátora – experiment 2**

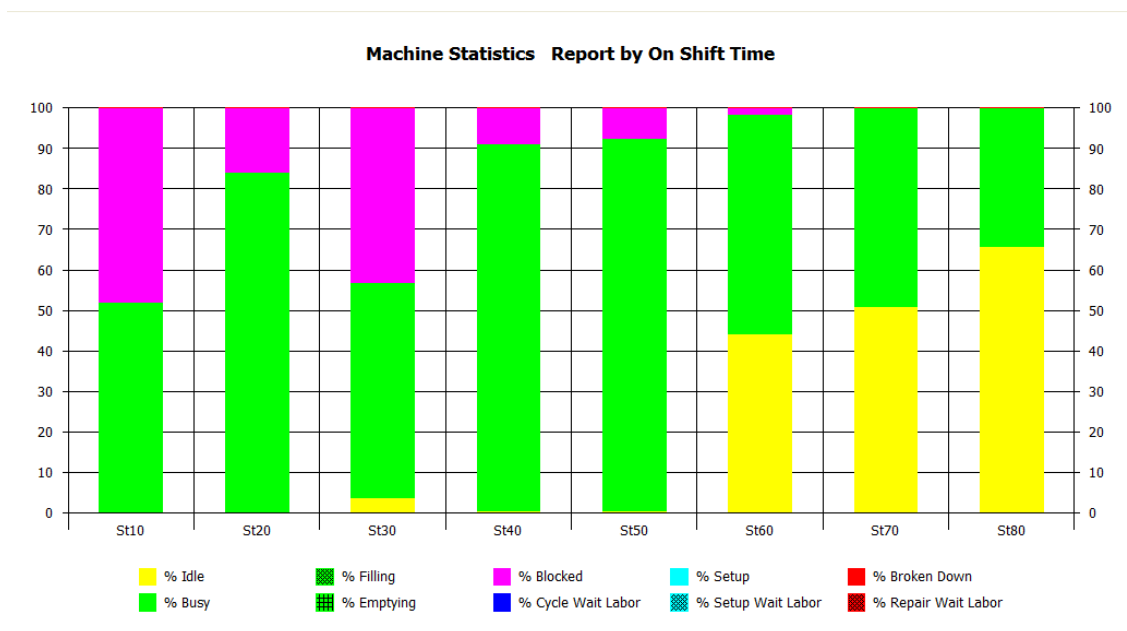
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z nasimulovaných dat lze vidět, že pokud na lince bude pracovat pouze jeden operátor bude sice vytížený na 99,51 %, ale dojde ke snížení počtu celkových vyrobených kusů na 625 to je zhruba o 29 % z původních 872 (obr 33,32). V grafu na obrázku 31, který nám ukazuje vytížení jednotlivých strojů na lince, nám u stanic 30,70 a 80 přibyla modrá barva, která značí že stanice musí tzv. čekat na operátora tzn. čeká, než operátor dokončí svoji práci na jiné stanici. Tato varianta by mohla být použita pouze v případě, kdy by klesl počet objednávek od zákazníka a linka by tak nemusela vyprodukovat stejný počet kusů jako v předchozím případě.

### 3.5.3 Experiment 3

Z druhého experimentu vyplynulo, že v případě jednoho operátora na lince by došlo i k značnému snížení počtu vyrobených kusů za hodinu. Tento experiment se tedy bude

zabývat situací, kdy bude na stanici 30 umístěn robot a operátor bude pracovat pouze na stanicích 70 a 80.



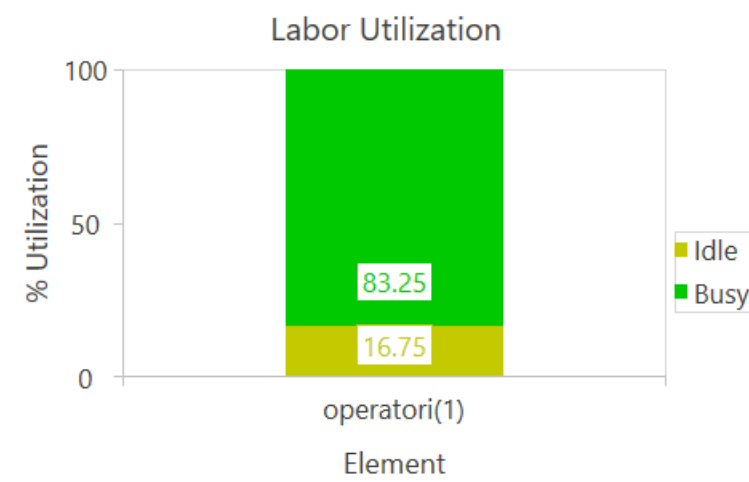
**Obrázek 34: Vytížení strojů – experiment 3**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time	Sigma Rating
unasec	1746	1744	0	0	0	2	1.67	25.18	6.00
telesa	918	0	0	899	0	19	18.52	532.55	6.00
GP40	899	0	0	872	0	27	24.19	710.43	6.00
ozubene_kolo_primarni	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
ozubene_kolo_sekundarni	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
o_ring	899	0	0	872	0	27	24.72	726.03	6.00
GP40_komplet	872	872	0	0	0	0	0.34	10.35	6.00

**Obrázek 35: Počet vyrobených kusů – experiment 3**

(Zdroj: Vlastní zpracování)



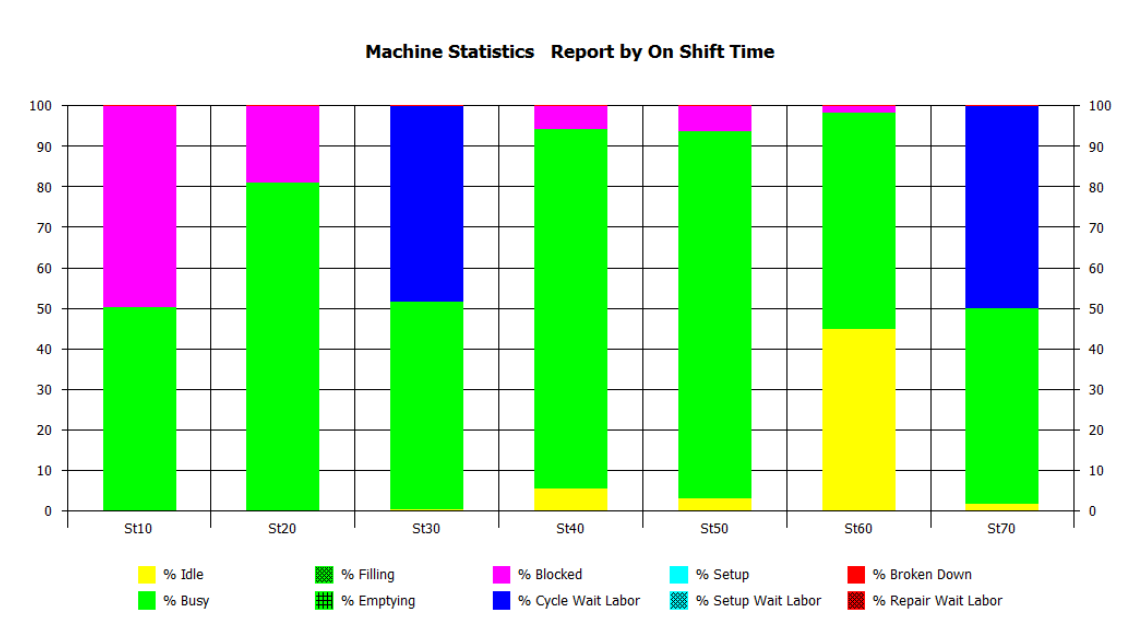
**Obrázek 36: Vytížení operátora – experiment 3**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z výsledků je patrné, že počet vyrobených kusů za směnu se vrátil zpět na svoji původní hodinu 872 kusů (obr.35). Z grafu vytížení strojů můžeme vidět, že na rozdíl od předchozího experimentu stroje nemusí čekat na operátora (obr.34). Operátor je v tomto případě vytížen v 83,25 % času (obr.36).

#### **3.5.4 Experiment 4**

Poslední experiment se bude zabývat scénářem kdy na lince pracuje jeden operátor, a to na stanicích 30 a 70. Stanice 80 na které se provádí vizuální kontrola bude odstraněna. Na lince tedy nebude 200 % vizuální kontrola ale pouze 100 %. Tento experiment jsem navrhnul, protože mi 200% vizuální kontrola přijde zbytečná. Vizuální kontrolu bude operátor provádět pouze na stanici 70 při kompletaci.



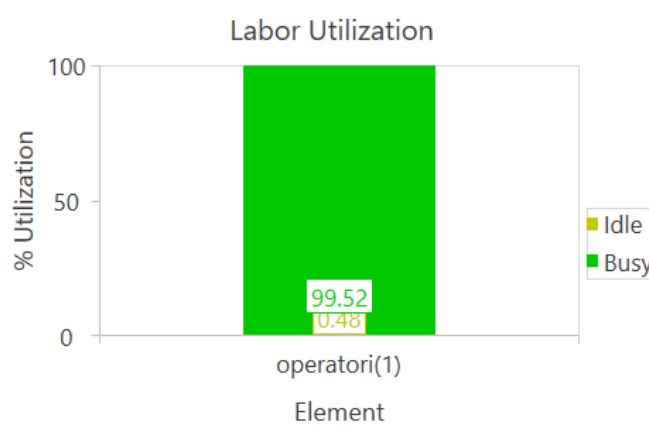
**Obrázek 37: Vytížení strojů – experiment 4**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Name	No. Entered	No. Shipped	No. Scrapped	No. Assembled	No. Rejected	W.I.P.	Avg W.I.P.	Avg Time	Sigma Rating
unasec	1704	1702	0	0	0	2	1.96	30.12	6.00
telesa	878	0	0	858	0	20	19.69	586.37	6.00
GP40	858	0	0	851	0	7	6.45	196.58	6.00
ozubene_kolo_primarni	859	0	0	851	0	8	7.44	226.62	6.00
ozubene_kolo_sekundarni	859	0	0	851	0	8	7.44	226.62	6.00
o_ring	859	0	0	851	0	8	7.44	226.62	6.00
GP40_komplet	851	851	0	0	0	0	0.00	0.00	6.00

**Obrázek 38: Počet vyrobených kusů – experiment 4**

(Zdroj: Vlastní zpracování)



**Obrázek 39: Vytížení operátora – experiment 4**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z obrázků 40 je patrné, že došlo k maximálnímu vytížení operátora a celkový počet vyrobených kusů se snížil pouze o 2,4 % na hodnotu 851 ks/směna (obr. 38). Stanice 30 a 70 musí čekat na operátora, v reálném provozu by to znamenalo, že operátor by si na stanici 30 tzv. „nadělal“ dostatečný počet výrobků, dokud by nebyla celá linka zablokována a poté by se přesunul ke stanici 70 (obr.37). Modrá barva v grafu na obrázku nám znázorňuje čas, po který stanice stojí a čeká, než operátor zpracuje výrobky na druhé stanici.

## 4 ZHODNOCENÍ NÁVRHU ŘEŠENÍ

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit digitální dvojče, které odpovídá reálnému stavu linky. Pomocí vytvořeného simulačního modelu, byly provedeny čtyři experimenty za účelem vyvážení montážní linky. Tato kapitola se věnuje zhodnocení výsledku experimentů, ekonomickému zhodnocení projektu a časové náročnosti tvorby simulačního modelu.

### 4.1 Zhodnocení simulačního modelu a výsledků experimentů

Po vytvoření simulačního modelu, otestování jednotlivých experimentů a jejich následném vyhodnocení, lze konstatovat, že využití dynamické simulace se ukázalo jako vhodný nástroj pro optimalizaci procesu. Společnost Bosch Diesel s.r.o. neustále analyzuje svoji výrobu a využití simulačních programů jejich rozhodování jednoznačně usnadní. Sběr dat potřebných pro tvorbu simulačního modelu nijak neomezuje reálný chod výrobní linky a program WITNESS nabízí celou řadu rozsáhlých statistik.

Jednotlivé experimenty byly porovnávány s výchozím stavem, který byl otestován při provozu na lince. Výchozí stav nám ukázal, že tři operátoři na lince jsou neefektivní a při snížení na dva operátory, linka vyrobí stejný počet kusů alepší se celková efektivita operátorů. Ve druhém experimentu, kde byl testován scénář, kdy na lince pracuje pouze jeden operátor bylo zjištěno, že tento scénář lze využít pouze v případě, že nám klesne počet objednávek, protože linka vyrobí méně kusů za směnu z důvodu, že operátor musí přebíhat mezi jednotlivými stanicemi. Ve třetím experimentu byl otestována možnost zakoupení robota na stanici 30 a ve čtvrtém experimentu odstranění stanice 80.

Pomocí simulace a návrhu experimentů se podařilo navrhnout a otestovat změny, které vedou k zvýšení vytížení operátorů při stejném objemu produkce.

V následující tabulce je zobrazeno porovnání navržených experimentů s výchozím stavem linky. V tabulce jsou porovnány metriky, na které jsem se při pozorování linky a návrhu jednotlivých experimentů zaměřil – vytížení operátorů a počet vyrobených kusů. Naměřené hodnoty odpovídají od simulování jedné směny tedy 435 minut čistého času.

**Tabulka 3: Porovnání experimentů**

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Scénář	Počet vyrobených ks	Vytíženost operátor 1 [%]	Vytíženost operátor 2 [%]	Vytíženost operátor 3 [%]
Výchozí stav	872	53,12	49,06	34,19
Experiment 1	872	83,39	52,99	-
Experiment 2	625	99,51	-	-
Experiment 3	872	83,25	-	-
Experiment 4	851	99,52	-	-

Po porovnání výsledků se jeví jako ideální řešení pro optimalizaci montážní linky experiment 4, tedy odstranění 200% kontroly na stanici 80 a využití pouze jednoho operátora, který bude přecházet mezi stanicemi 30 a 70. Operátor bude maximálně vytížen a počet kusů vyrobených za jednu směnu klesne „pouze“ o 32, což odpovídá 2,44%. Druhý scénář, který lze využít, aniž by klesl počet vyrobených kusů a operátor byl maximálně vytížen je experiment 3, nicméně zde je nutno počítat s pořizovací cenou robota na stanici 30.

Jednotlivé experimenty byly konzultovány se zaměstnanci společnosti Bosch Diesel s.r.o. Na simulačním modelu byly otestovány návrhy scénářů, které padly přímo od technologů a pracovníků montážní linky. Důležité je zmínit, že jediný scénář, který byl otestován a porovnán s realitou je výchozí scénář, kdy jsou na lince tři operátoři. Navržené experimenty by tak musely být otestovány na zkušebním provozu, který by ukázal, zda tyto experimenty skutečně přinesou požadovaný výsledek.

## 4.2 Časové zhodnocení tvorby simulačního modelu

V této části bude zhodnocena časová náročnost při tvorbě simulačního modelu.

Následující seznam popisuje časovou náročnost jednotlivých kroků metodiky tvorby simulačních modelů:

- Stanovení základních cílů modelu – cca 1 den;
- Sběr a analýza dat – cca 7 dní;
- Tvorba simulačního modelu – cca 30 dní;
- Verifikace a validace modelu – 1 den;
- Tvorba simulačních experimentů – cca 20 dní;
- Vyhodnocení a dokumentace jednotlivých experimentů – cca 7 dní.

Za stanovení základních cílů modelu je považováno určení linky, pro kterou bude simulace modelována, představení výroby na lince a definování rozsahu modelu tzn. určení jeho počátku a konce.

Nejdelší část mé práce zabral sběr a analýza dat společně se samotnou tvorbou simulačního modelu. Data poskytnutá od společnosti Bosch Diesel s.r.o. byla přeměřena a validována na montážní lince a zároveň byla naměřena všechna potřebná data, která nebyla k dispozici. Tvorba simulačního modelu trvala nejdéle z důvodu seznamování se s softwarem, lze tedy předpokládat, že v případě využití odborníka na tvorbu simulací se tento čas značně sníží.

Samotná validace a verifikace modelu proběhla na montážní lince a trvala jednu hodinu. Uvedený čas jeden den zohledňuje i následnou potřebu doladit drobné detaily na modelu.

Tvorba experimentů, jejich vyhodnocení a následná dokumentace trvala dohromady cca 27 dní. Na základě uvedených časů, lze konstatovat, že tvorba simulačního modelu zabere hodně času.



### **4.3 Ekonomické zhodnocení návrhu**

Při využití simulačních programů musí společnost počítat s různými náklady. Aby využití této technologie bylo pro společnost výhodné, musí její přínosy převýšit náklady. V této části budou popsány náklady spojené s využitím této technologie a ekonomické přínosy navržených změn. Jednotlivé náklady jsou uvedeny pouze orientačně a mohou se lišit podle použitého simulačního software.

#### **4.3.1 Náklady na pořízení simulačního software**

Náklady na pořízení simulačního software jsou v současné době velmi vysoké, u některých software se může jednat až o stovky tisíc korun.

#### **4.3.2 Personální náklady**

Firma musí počítat s případnými náklady na zaměstnání odborníka, který bude simulační modely vytvářet, popřípadě s náklady na proškolení současného personálu.

Pro účel vypracování této bakalářské práce mi byla školou poskytnuta studentská licence programu WITNESS Horizon.

#### **4.3.3 Ekonomické přínosy navržených změn**

Hlavním výsledkem navržených změn je úspora lidského kapitálu. Pokud se firma rozhodne pro experiment 4 – tedy odstranění 200% kontroly a provoz linky pouze s jedním operátorem, sníží se náklady na personál o 50%, popřípadě může být volný operátor alokován na jinou výrobní linku.

V případě využití experimentu 3, tedy umístění robota na stanici 30 je nutno počítat s pořizovací cenou robota.

## ZÁVĚR

Náplní bakalářské práce byla optimalizace a vytížení montážní linky zubových čerpadel GP40 ve společnosti Bosch Diesel s.r.o. Cílem této práce bylo za pomoci simulačního modelu vytvořeného v programu WITNESS Horizon navrhnout scénáře určené k optimalizaci a vyvážení této linky. Bakalářská práce je rozdělená do čtyř částí – teoretické, analytické, návrhové a zhodnocení návrhu a jeho implementace. V teoretické části jsou popsány základní pojmy, které souvisí s problematikou štíhlé výroby, simulačních modelů a optimalizací procesu. Dále je popsán program WITNESS Horizon, který je v návrhové části použit k vytvoření simulačního modelu linky. Informace v teoretické části byly čerpány zejména z knižní literatury.

V analytické části byla nejprve popsána společnost Bosch Diesel s.r.o., podnikové procesy a organizační struktura. Dále se analytická část dělila na globální a detailní analýzu. V globální analýze byly popsány hlavní, řídicí a podpůrné procesy. Detailní analýza byla zaměřená na současný stav montážní linky. Informace a data, potřebná k vypracování bakalářské práce mi byly poskytnuty od zaměstnanců společnosti, z firemních směrnic anebo zjištěny při pozorování na lince.

Na základě provedené analýzy bylo identifikováno úzké místo a problémy v procesu, které byly řešeny v návrhové části.

Návrhová část se věnovala samotnému procesu tvoření simulačního modelu a následnému návrhu, popisu a vyhodnocení čtyř různých scénářů. V prvním experimentu byl snížen počet operátorů na dva, v druhém experimentu potom pouze na jednoho operátora na lince. Třetí experiment se zabýval scénářem, kdy je na stanici 30 zakoupen robot a poslední scénář kdy je z linky odstraněna stanice 80 a je na lince pouze jeden operátor, který se přesouvá mezi stanicemi 30 a 70.

Na konci návrhové části byly jednotlivé scénáře porovnány a podle stanovených kritérií, zvoleno nejvhodnější řešení.

Poslední část se zabývala zhodnocením jednotlivých návrhů, zhodnocením časové náročnosti tvorby simulačního modelu a ekonomickým zhodnocením.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Procesní analýza (Process analysis) - *ManagementMania.com*. [online]. Copyright © 2011 [cit. 14.05.2020]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/analyza-procesu-procesni-analyza>
- [2] VOCHOZKA, Marek, Petr MULAČ a kolektiv. Podniková ekonomika [online]. Praha: Grada, 2012 [cit. 2017-12-02]. ISBN 978-80-247-8200-3. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=mmqjAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q=henry%20ford&f=false](https://books.google.cz/books?id=mmqjAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q=henry%20ford&f=false)
- [3] What is Lean?. *LeanProduction* [online]. Itasca: Vorne, c2011-2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.leanproduction.com>
- [4] The Essence of Lean. *Lean Production: lean made easy by Vorne* [online]. Itasca: Vorne, 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.leanproduction.com/intro-to-lean.html>
- [5] Lean Manufacturing Wastes. *Lean Manufacturing Tools* [online]. 2019 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <https://leanmanufacturingtools.org/71/muda-mura-and-muri-lean-manufacturing-wastes/>
- [6] Sedm druhů plýtvání: Zeštíhlete administrativu! - *Investujeme.cz*. *Investujeme.cz* - odborný server společnosti *Fincentrum & Swiss Life Select a.s.* [online]. Copyright © 2008 [cit. 11.05.2020]. Dostupné z: <https://www.investujeme.cz/clanky/sedm-druhu-plytvani-zestihlete-administrativu/>

- [7] 7 forem plýtvání ve výrobě a jak je odstranit. *Triogiq* [online]. Praha: Triogiq, 2018, 9 January 2018 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <https://trilogiq.cz/7-forem-plytvani-ve-vyrobe-a-jak-je-odstranit/>
- [8] 25 Essential Lean Tools. *LeanProduction* [online]. Itasca: Vorne, c2011-2019 [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <https://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html#25-essential-lean-tools>
- [9] Kanban. *Management mania* [online]. Lean Manufacturing Tools, 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://leanmanufacturingtools.org/kanban>
- [10] Kanban Systems; Design, Types and Implementation. *Lean Manufacturing Tools* [online]. Copyright © 2019 [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: <https://leanmanufacturingtools.org/kanban/>
- [11] What is Heijunka. *Kanban Software for Lean Management / Kanbanize* [online]. Copyright © 2019 Kanbanize. All rights reserved. [cit. 08.11.2019]. Dostupné z: <https://kanbanize.com/continuous-flow/heijunka/>
- [12] What is 5S? 5S System is explained including tips on getting a 5S program started.. *5SToday.com / 5S Training Solutions and Products* [online]. Copyright © 2020 [cit. 11.05.2020]. Dostupné z: <https://www.5stoday.com/what-is-5s/>
- [13] Systém tahu ve výrobním prostředí. 1. vyd. Brno: SC&C Partner, 2008, 95 s. ISBN 978-80-904099-0-3.

- [14] What is Plan-Do-Check-Act Cycle?. *Kanbanize* [online]. 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/what-is-pdca-cycle/>
- [15] kpi tree | Leafvic.org. *Leafvic.org / Leaf Vic Site* [online]. Copyright © Copyright 2020, All Rights Reserved [cit. 11.05.2020]. Dostupné z: <https://leafvic.org/kpi-tree/>
- [16] RABAH, Souad, Ahlem ASSILA, Elio KHOURI, Florian MAIER, Fakreddine ABABSA, Valéry BOURNY, Paul MAIER a Frédéric MÉRIENNE. Towards improving the future of manufacturing through digital twin and augmented reality technologies. *Procedia Manufacturing* [online]. Elsevier B.V, 2018, 17, 460-467 [cit. 2019-10-25]. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.070. ISSN 2351-9789. Dostupné z: [https://primo.lib.vutbr.cz/permalink/f/1pt3lf4/TN\\_elsevier\\_sdoi\\_10\\_1016\\_j\\_promfg\\_2018\\_10\\_070](https://primo.lib.vutbr.cz/permalink/f/1pt3lf4/TN_elsevier_sdoi_10_1016_j_promfg_2018_10_070)
- [17] BANKS, Jerry. Discrete-event system simulation. 4th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005, xvi, 608 s. ISBN 0-13-144679-7
- [18] Využití digitálního dvojčete a digitálního vlákna k vylepšení produktů a výrobních procesů. *System online* [online]. Brno: CCB, 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/zpravy/vyuziti-digitalniho-dvojce-a-digitalniho-vlakna-k-vylepseni-produktu-a-vyrobnich-procesu-z.htm>
- [19] What is a digital twin and why it's important to IoT. *Network World* [online]. Framingham: DG Communications, 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.networkworld.com/article/3280225/what-is-digital-twin-technology-and-why-it-matters.html>

- [20] What are use cases of Digital Twin? - Geospatial World. *Geospatial World - Top destination for geospatial industry trends* [online]. Copyright © Geospatial Media and Communications [cit. 08.11.2019]. Dostupné z: <https://www.geospatialworld.net/blogs/what-are-use-cases-of-digital-twin/>
- [21] WANG, Jinjiang, Lunkuan YE, Robert x GAO, Chen LI a Laibin ZHANG. Digital Twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing. *International Journal of Production Research* [online]. Taylor & Francis, 2019, 57(12), 3920-3934 [cit. 2019-10-25]. DOI: 10.1080/00207543.2018.1552032. ISSN 0020-7543. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1552032>
- [22] BENEŠL, Tomáš. In: *Proceedings of the 22st Conference STUDENT EEICT 2016* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, s. 426-430 [cit. 2019-10-21]. ISBN 978-80-214-5614-3. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/138270/eeict2018-426.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [23] VACHALEK, Jan, Lukas BARTALSKY, Oliver ROVNY, Dana SISMISOVA, Martin MORHAC a Milan LOKSIK. The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept. In: *2017 21st International Conference on Process Control (PC)* [online]. IEEE, 2017, s. 258-262 [cit. 2019-10-21]. DOI: 10.1109/PC.2017.7976223. Dostupné z: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/document/7976223>
- [24] LANNER GROUP LTD. *Learning WITNESS Book One: Manufacturing Performance Edition*. 1. Morrisville: Lulu.com, 2013. [cit. 2019-10-21] ISBN 9781291476743.

- [25] WITNESS Simulation Modeling Software | Lanner. *Predictive Simulation Software & Modelling Services / Lanner* [online]. Copyright © [cit. 15.11.2019]. Dostupné z: <https://www.lanner.com/en-us/technology/witness-simulation-software.html>
- [26] Úplný výpis z obchodního rejstříku: BOSCH DIESEL s.r.o., C 8864 vedená u Krajského soudu v Brně. *Veřejný rejstřík a sbírka listin* [online]. Praha: Ministerstvo spravedlnosti České republiky, c2012-2015 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=512708&typ=UPLNY>
- [27] Jihlava. *Bosch: Stvořeno pro život* [online]. Robert Bosch odbytová, 2019 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-v-ceske-republice/jihlava/>
- [28] Hlavní procesy (Core processes). *Management mania* [online]. Wilmington: MANAGEMENTMANIA.COM, 2016 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/hlavni-procesy>
- [29] Interní materiály podniku Bosch Diesel s.r.o.
- [30] Podpůrné procesy (Support Processes). *Management mania* [online]. Wilmington: MANAGEMENTMANIA.COM, 2016 [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/podpurne-procesy>

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

KPI - Key performance indicator

KPR - Key performance result

IT – Informační technologie

SAP - System application products

TMS - Transport management system

BPS - Bosch production systems

PGL - Projective general linear

CAD – Computer aided design

WIP - Work in progress

CT – Cycle time

OEE – Overall equipment efficiency



## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1: 7 forem plýtvání .....	18
Obrázek 2: Nadprodukce .....	19
Obrázek 3: Kanbanová karta.....	22
Obrázek 4: 5S Systém.....	24
Obrázek 5: PDCA Cyklus.....	26
Obrázek 6: KPI Tree .....	27
Obrázek 7: Graf přesnosti v závislosti na detailech simulačního modelu .....	35
Obrázek 8: Modelovací okno WITNESS .....	38
Obrázek 9: Designer Elements .....	39
Obrázek 10: Interact Box.....	39
Obrázek 11: Zobrazení času .....	40
Obrázek 12: Elementy .....	41
Obrázek 13: Závod na Pávově .....	44
Obrázek 14: Organizační struktura Bosch Diesel s.r.o. ....	45
Obrázek 15: Organizační struktura výrobního úseku CP3 .....	45

Obrázek 16: Řídící procesy ve firmě .....	46
Obrázek 17: Hlavní procesy .....	46
Obrázek 18: Podpůrné procesy .....	48
Obrázek 19: Zubové čerpadlo GP40.....	49
Obrázek 20: Výroba zubového čerpadla GP40.....	49
Obrázek 21: OEE linky s prostoji .....	53
Obrázek 22: Koncept modelu .....	56
Obrázek 23: Simulační model.....	57
Obrázek 24: Dialogové okno DETAIL v programu WITNESS HORIZON .....	58
Obrázek 25: Vytížení strojů – plný stav .....	61
Obrázek 26: Počet vyrobených kusů – plný stav .....	61
Obrázek 27: Vytížení operátorů – plný stav .....	61
Obrázek 28: Vytížení strojů – experiment 1 .....	63
Obrázek 29: Počet vyrobených kusů – experiment 1 .....	63
Obrázek 30: Vytížení operátorů – experiment 1 .....	63
Obrázek 31: Vytížení strojů – experiment 2 .....	64

Obrázek 32: Počet vyrobených kusů – experiment 2 .....	65
Obrázek 33: Vytížení operátora – experiment 2 .....	65
Obrázek 34: Vytížení strojů – experiment 3 .....	66
Obrázek 35: Počet vyrobených kusů – experiment 3 .....	66
Obrázek 36: Vytížení operátora – experiment 3 .....	67
Obrázek 37: Vytížení strojů – experiment 4 .....	68
Obrázek 38: Počet vyrobených kusů – experiment 4 .....	68
Obrázek 39: Vytížení operátora – experiment 4 .....	68

## **SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK**

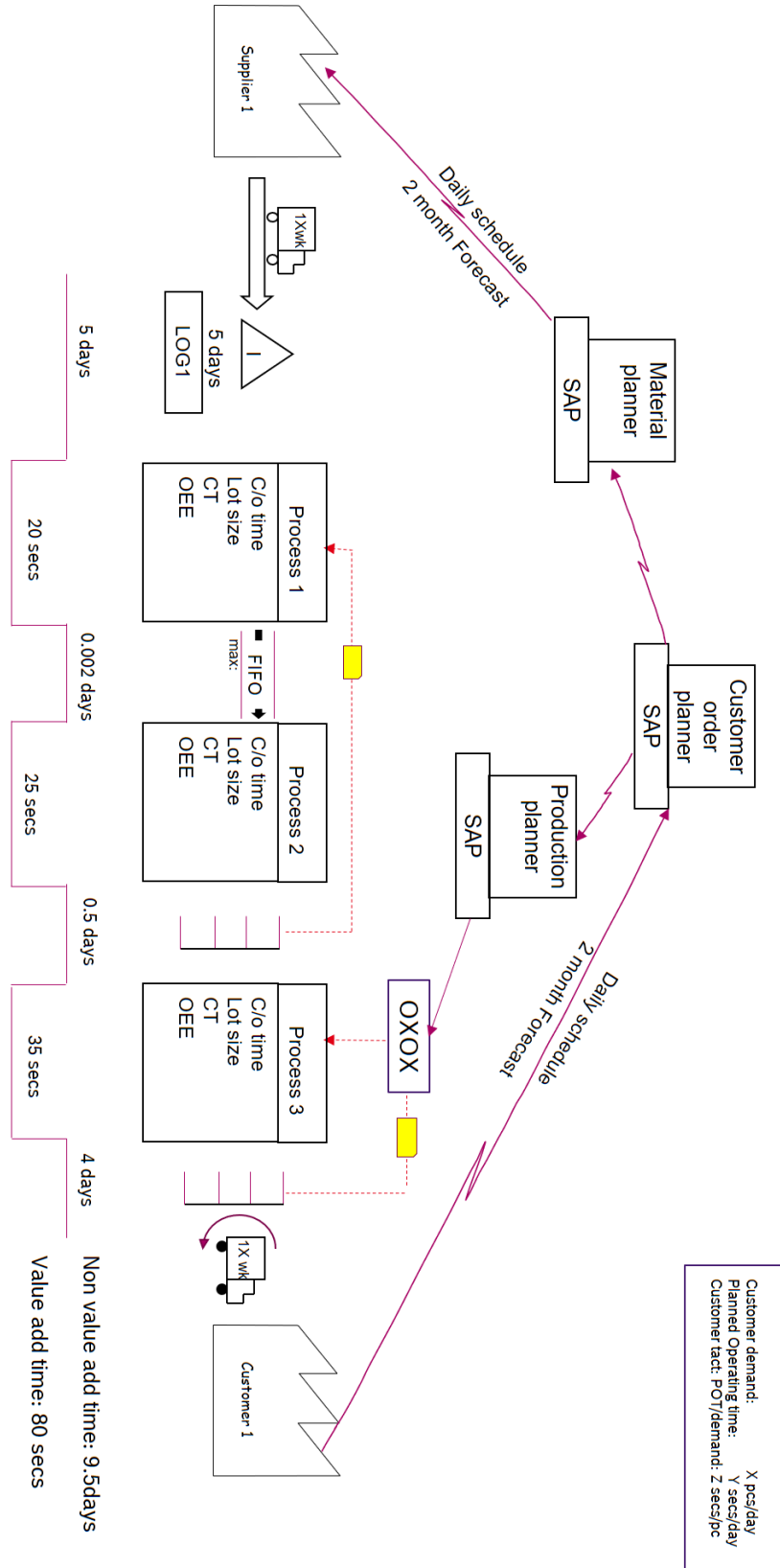
Tabulka 1: Naměřené doby cyklu .....	52
Tabulka 2: Vytížení operátorů .....	52
Tabulka 3: Porovnání experimentů .....	71

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I: VSM mapa .....	86
Příloha II: Layout montážní linky.....	87
Příloha III: Procesní mapa GP40 .....	88
Příloha IV: Foto Stanice 10 .....	89
Příloha V: Foto Stanice 20.....	90
Příloha VI: Foto Stanice 30 .....	91
Příloha VII: Foto Stanice 40 .....	92
Příloha VIII: Foto Stanice 50.....	93
Příloha IX: Foto Stanice 60 .....	94
Příloha X: Stanice 70 + 80.....	95

# Příloha I: VSM mapa

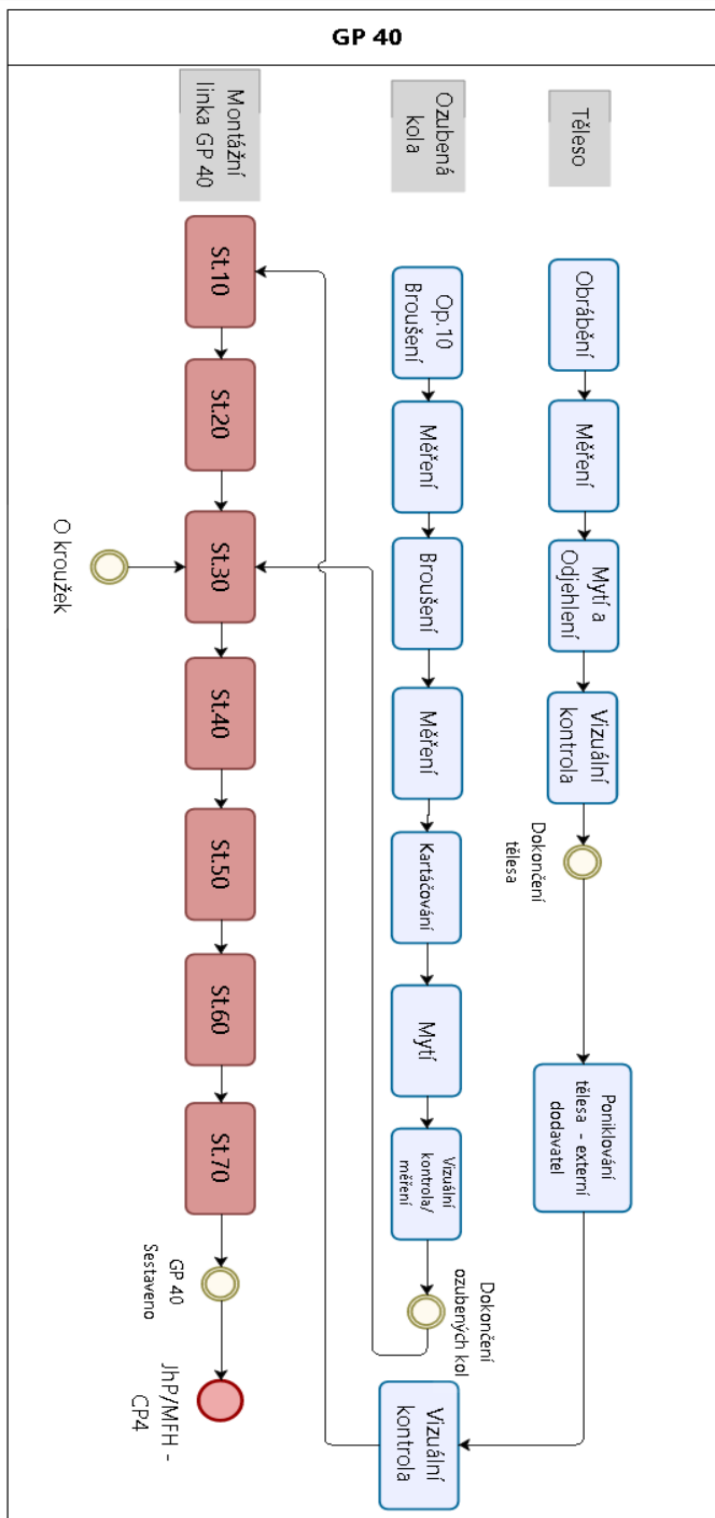
(Zdroj: společnost Bosch Diesel s.r.o.)





**Příloha III: Procesní mapa GP40**

(Zdroj: Vlastní zpracování dle návrhu)





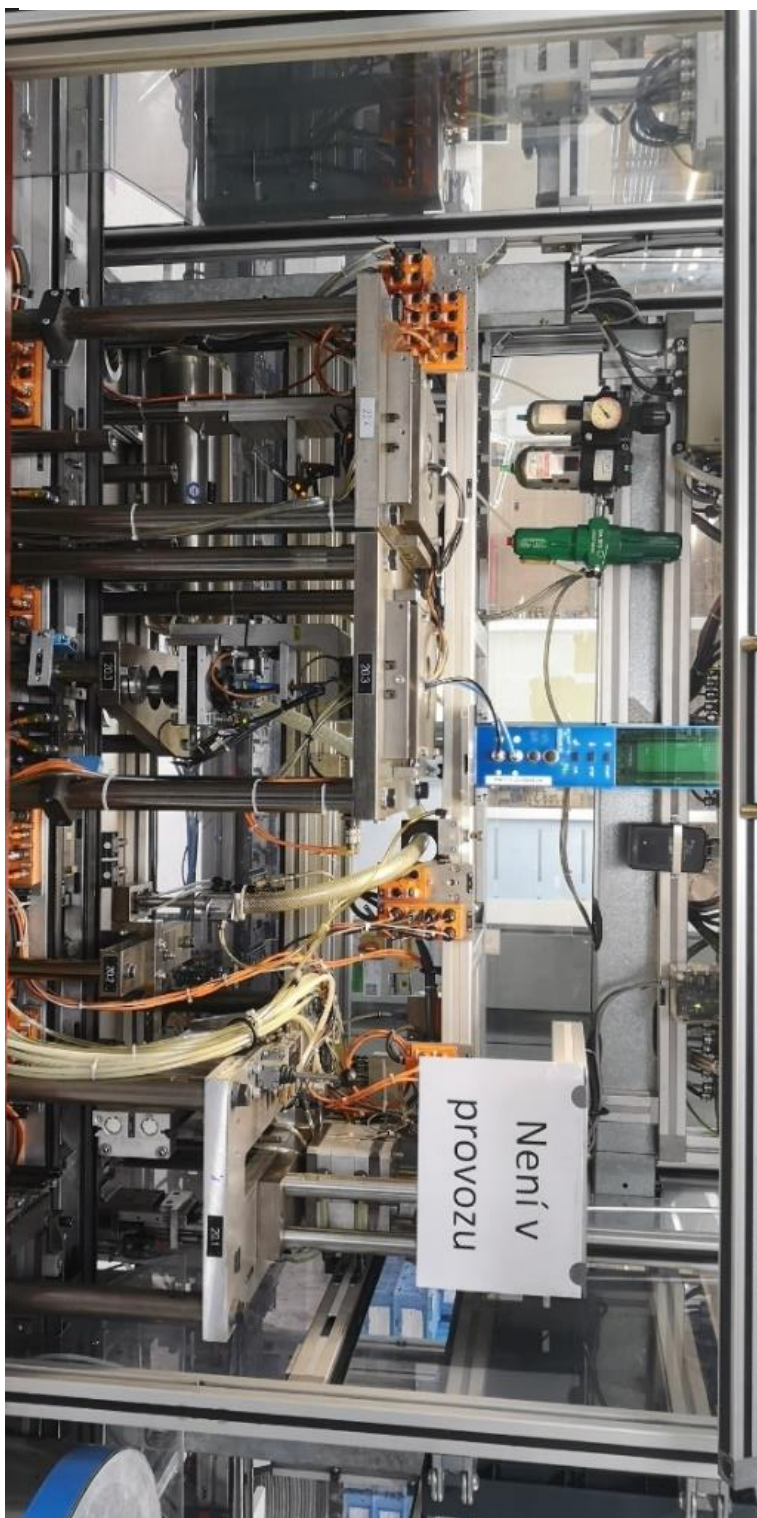
#### Příloha IV: Foto Stanice 10

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)



**Příloha V: Foto Stanice 20**

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)



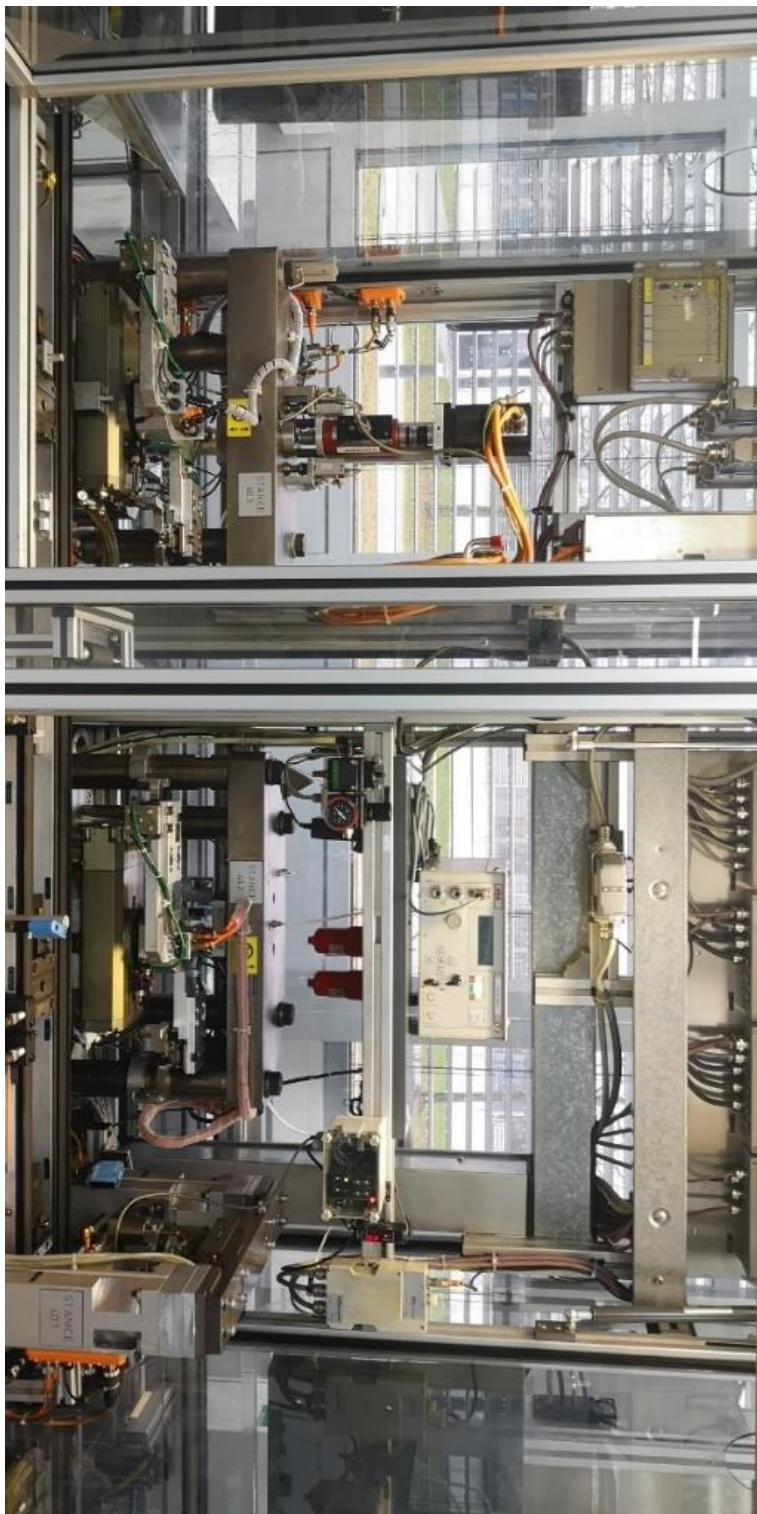
**Příloha VI: Foto Stanice 30**

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)



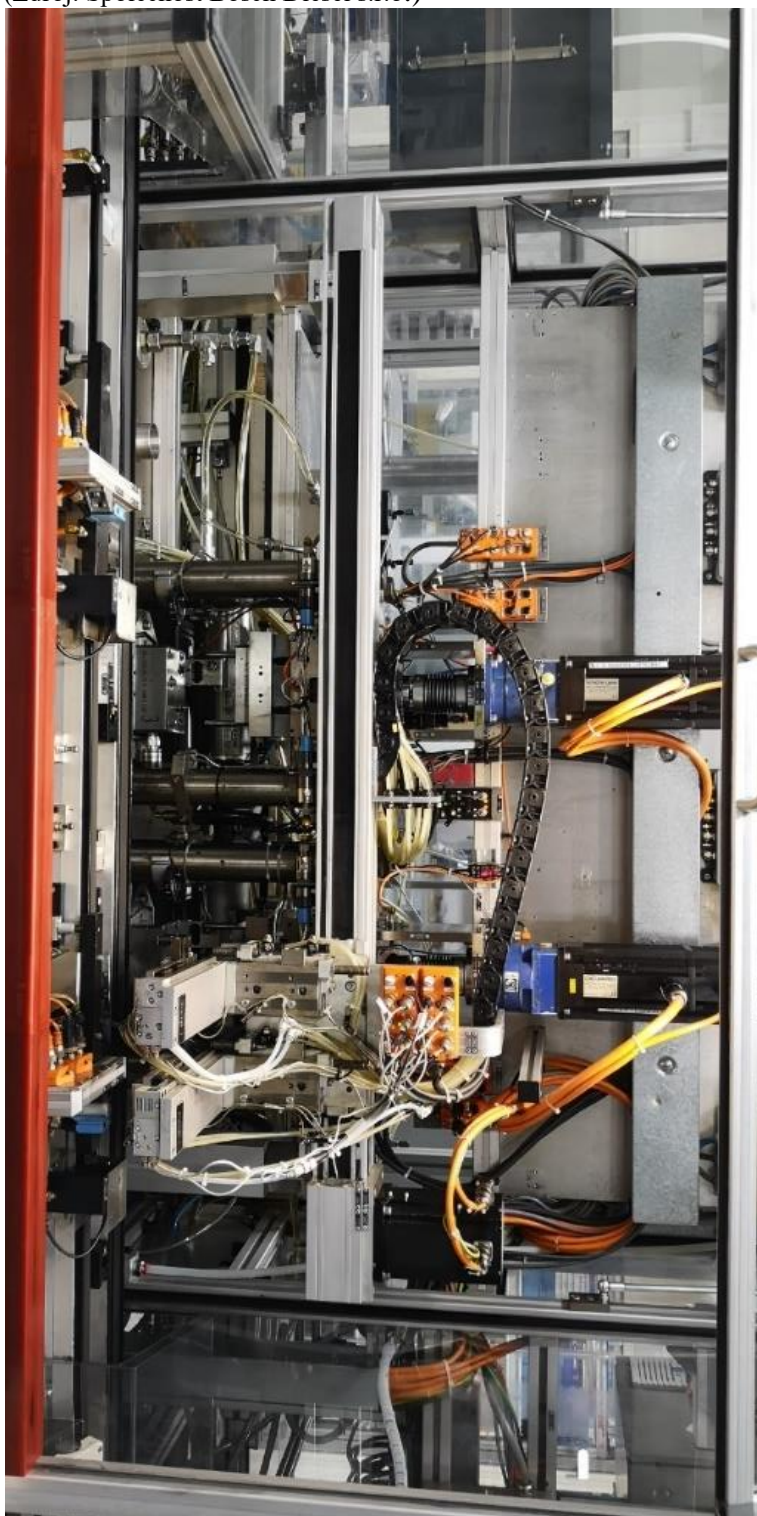
## Příloha VII: Foto Stanice 40

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)



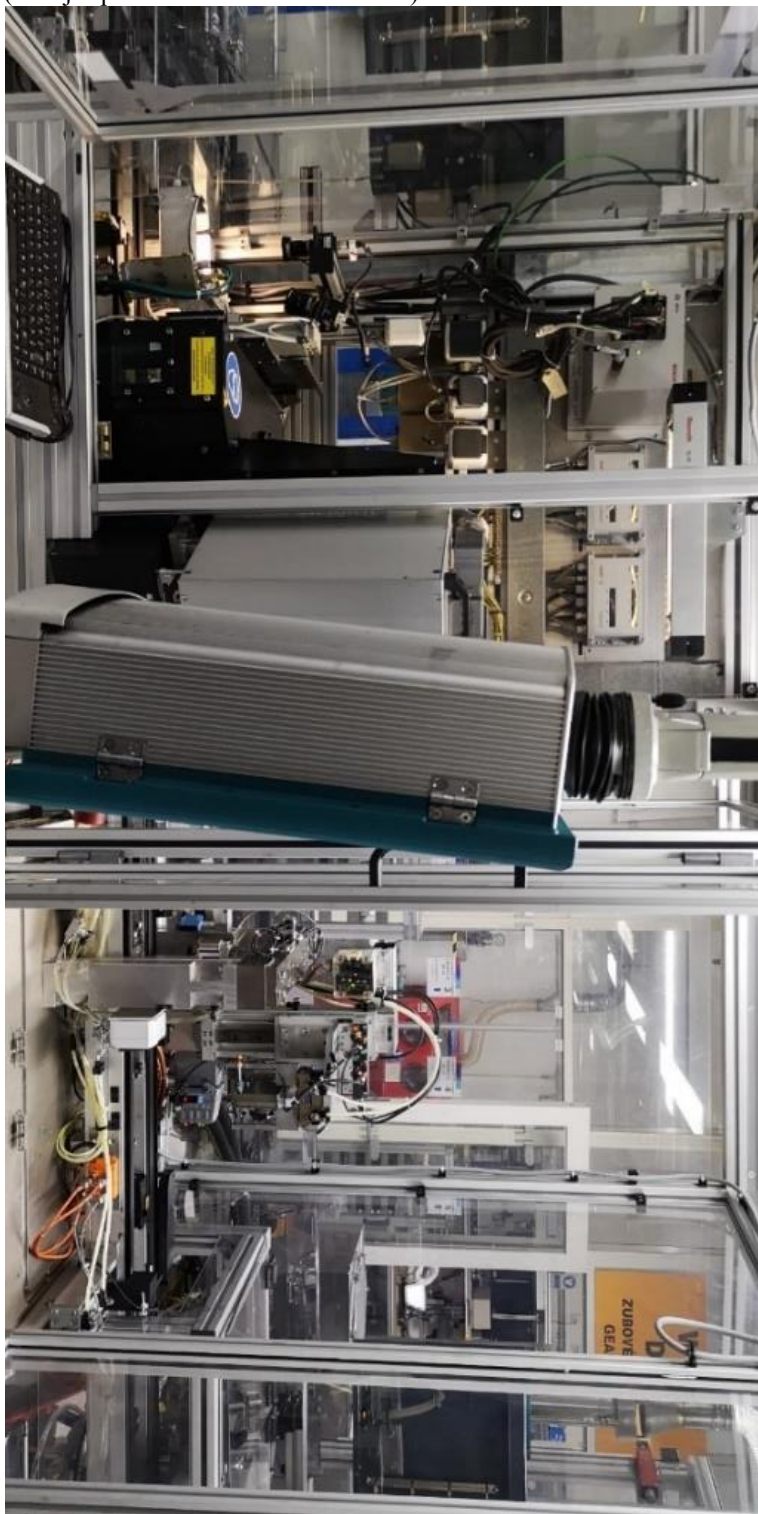
**Příloha VIII: Foto Stanice 50**

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)



**Příloha IX: Foto Stanice 60**

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)



**Příloha X: Stanice 70 + 80**

(Zdroj: Společnost Bosch Diesel s.r.o.)

