# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA PODNIKATELSKÁ
FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

## ÚSTAV MANAGEMENTU
INSTITUTE OF MANAGEMENT


# OPTIMALIZACE VÝROBNÍHO PROCESU S VYUŽITÍM PREDIKTIVNÍ SIMULACE
OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION PROCESS USING PREDICTION SIMULATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**
BACHELOR'S THESIS


**AUTOR PRÁCE** — **David Pechánek**
AUTHOR

**VEDOUCÍ PRÁCE** — **Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.**
SUPERVISOR



**BRNO 2020**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA PODNIKATELSKÁ

# Zadání bakalářské práce

| | |
|---|---|
| Ústav: | Ústav managementu |
| Student: | **David Pechánek** |
| Studijní program: | Procesní management |
| Studijní obor: | bez specializace |
| Vedoucí práce: | **Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.** |
| 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:

## Optimalizace výrobního procesu s využitím prediktivní simulace

**Charakteristika problematiky úkolu:**

Úvod
Vymezení problému a cíle práce
Teoretická východiska práce
Analýza současného stavu procesu výroby
Optimalizace procesu výroby
Přínos návrhů řešení
Závěr
Seznam použité literatury
Přílohy

**Cíle, kterých má být dosaženo:**

Návrh optimalizace procesu výroby, který povede zeštíhlení výroby (Lean Manufacturing). Práce by měla obsahovat čtyři části:
– analytická část – globální analýza procesů firmy, detailní analýza vybraného výrobního procesu
– teoretická část
– návrhová část – vytvoření modelu zvoleného výrobního procesu a návrh jeho optimalizace
– doporučený postup implementace a zhodnocení návrhu

**Základní literární prameny:**

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

BASL, J., TUMA, M., GLASL, V. Modelování a optimalizace podnikových procesů. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. 140 s. ISBN 80-7082-936-2.

JUROVÁ, M., KORÁB, V., JUŘICA, P., VIDECKÁ, Z., BARTOŠEK, V. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: Grada, 2016. 254 s. ISBN: 978-80-247-5717- 9.

TOMEK, G., VÁVROVÁ, V. Integrované řízení výroby. Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2014. 368 s. ISBN 978-80-247-4486-5.

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.<br>ředitel | doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.<br>děkan |

**Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou současné podoby výrobního procesu a návrhem na jeho zlepšení za použití prediktivní simulace. V teoretické části práce jsou popsány základní pojmy spojené s procesním řízením organizace. Dále je teoretická část zaměřena na výrobní procesy a metodiku simulačních projektů spojených s tvorbou digitálního dvojčete procesu. V analytické části je nejprve představen výrobní podnik a je zde provedena globální analýza procesů. Poté je zde zanalyzován konkrétní výrobní proces, který bude optimalizován. V části návrhové jsou popsány simulační modely současné i navrhované podoby procesu a jsou zde zhodnoceny přínosy navrhovaného řešení.

**Abstract**

This bachelor's work looks at analysing the current form of the manufacturing process and proposing to improve it using predictive simulation. The theoretical part of the work describes the basic concepts associated with the organisation's procedural management. Furthermore, the theoretical part focuses on the production processes and methodology of simulation projects associated with the creation of the process's digital twin. In the analysis section, the production business is first presented and a global process analysis is carried out. A specific production process, which will be optimised is then analysed here. The design section describes simulation models of the current and proposed form of the process and evaluates the benefits of the proposed solution.

**Klíčová slova**

Optimalizace procesu, simulační projekt, digitální dvojče procesu, výrobní proces, štíhlá výroba

**Key words**

Process optimization, simulation project, process digital twin, production process, lean manufacturing

**Bibliografická citace**

PECHÁNEK, David. Optimalizace výrobního procesu s využitím prediktivní simulace [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127315. 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**

Touto cestou bych rád poděkoval paní Ing. Zdeňce Videcké, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Především děkuji za její čas a za cenné a odborné rady. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti PEPOVO s.r.o. za poskytnutí všech důležitých informací, které byly podkladem pro tvorbu této práce. Děkuji také své rodině za podporu při mém studiu a při tvorbě této práce.

# OBSAH

OBSAH ..... 8

ÚVOD ..... 10

1 CÍL A METODIKA PRÁCE ..... 12

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE ..... 13

2.1 Procesní prostředí ..... 13

2.1.1 Řízení a zlepšování procesů ..... 14

2.2 Výroba ..... 14

2.2.1 Výrobní proces ..... 15

2.2.2 Transformační činnost ..... 15

2.2.3 Materiálové toky ..... 16

2.2.4 Přenos informací ..... 17

2.2.5 Plýtvání ve výrobních procesech ..... 18

2.3 Metodika Lean Six Sigma ..... 20

2.3.1 Lean ..... 20

2.3.2 Six sigma ..... 22

2.3.3 Kombinované metody Lean Six Sigma ..... 25

2.4 Modelování procesů ..... 28

2.4.1 Průmyslová digitalizace ..... 29

2.4.2 Simulační modelování ..... 30

2.4.3 Metodika simulačního projektu ..... 31

3 ANALÝZA PROBLÉMU A SOUČASNÁ SITUACE ..... 37

3.1 O firmě ..... 37

3.2 Výrobní program ..... 37

3.2.1 Automotive ..... 37

3.2.2 Ostatní výrobky ... 37
3.3 Organizační struktura ... 38
3.4 Globální analýza podniku ... 41
3.4.1 Průběh zakázky podnikem ... 41
3.5 Procesní mapa ... 42
3.5.1 Řídící procesy ... 42
3.5.2 Hlavní procesy ... 46
3.5.3 Podpůrné procesy ... 48
3.6 Detailní analýza výrobního procesu ... 50
3.6.1 Popis pracoviště ... 50
3.6.2 Řízení průběhu výroby ... 51
3.6.3 Průběh výroby ... 52
3.6.4 Časový snímek procesu ... 56
4 NÁVRHOVÁ ČÁST ... 58
4.1 Digitální dvojče současné podoby procesu ... 58
4.1.1 Tvorba konceptu modelu ... 58
4.1.2 Sběr dat ... 58
4.1.3 Tvorba počítačového modelu ... 59
4.1.4 Ověření a schválení podoby modelu ... 59
4.1.5 Výsledky a reportování aktuálního stavu ... 61
4.2 Návrh optimalizace výrobního procesu ... 64
4.2.1 Průběh výroby ... 65
4.2.2 Potřebné vybavení pracoviště ... 66
4.3 Digitální dvojče navrhované podoby procesu ... 69
4.3.1 Tvorba konceptu modelu ... 69
4.3.2 Sběr dat ... 69

4.3.3 Tvorba počítačového modelu ... 69
4.3.4 Návrh experimentu ... 70
4.3.5 Běh simulace ... 71
4.3.6 Dokumentace výsledků experimentu a reportování ... 73
4.3.7 Implementace ... 76
4.4 Zhodnocení návrhu ... 76
4.4.1 Zhodnocení míry optimalizace ... 76
4.4.2 Ekonomické zhodnocení navrhovaných změn ... 78
ZÁVĚR ... 80
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ ... 81
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 83
SEZNAM TABULEK ... 84
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK ... 85
SEZNAM PŘÍLOH ... 86

# ÚVOD

V současném tržním prostředí jsou společnosti nuceny neustále inovovat a zefektivňovat procesy, jejichž výstupem jsou finální výrobky či služby dodávané zákazníkovi. Téměř každá firma se snaží o snižování nákladů, ať už z důvodu udržení kroku se svými konkurenty nebo za účelem zvýšení svého zisku. Jednou z cest, jak dosáhnout těchto cílů je optimalizace jednotlivých procesů, které jsou ve společnosti prováděny. V dnešní době, kdy dochází k digitalizaci průmyslového odvětví je také při optimalizaci procesů hojně využíváno moderních technologií, které nám pomáhají najít nejlepší řešení daného problému. Pro simulaci současné či navrhované podoby procesu jsme schopni vytvořit digitální dvojče.

V mé bakalářské práci se budu zabývat optimalizací výrobního procesu ve společnosti, jejíž hlavní činností je výroba plastových produktů metodou vytlačovacího vyfukování. Zaměřím se konkrétně na proces výroby vzduchových rozvodů pro osobní automobily, které společnost dodává celé řadě významných zákazníků z tohoto odvětví.

V teoretické části své práce popíšu procesní prostředí, respektive jeho jednotlivé prvky a jejich vazby. Poté se zaměřím na výrobní procesy a metodiky, používané při jejich optimalizaci. Jak už jsem zmínil, v současnosti můžeme využít moderní nástroje, které nám pomohou vytvořit model procesu, a proto se v teoretické části zaměřím také na modelování procesů, především na metodiku simulačního projektu.

Dále budu pokračovat analytickou částí, ve které nejprve představím podnik a jeho organizační strukturu a zanalyzuji průchod zakázky podnikem. Popíšu řídící, hlavní i podpůrné procesy a vytvořím procesní mapu. Detailní analýza výrobního procesu, který budu následně optimalizovat bude obsahovat popis pracovišť, kterými výrobek prochází. Rozeberu jednotlivé úkony, které jsou zde prováděny a zaznamenám je do časového snímku procesu. Výstupem této části bude nalezení úzkých míst procesu, na jejichž optimalizaci budu pracovat v části návrhové.

Návrhovou část zpracuji na základě metodiky simulačního projektu. Vytvořím digitální dvojče současné podoby procesu, které porovnám se skutečností. Poté namodeluji zamýšlenou podobu procesu a provedu prediktivní simulaci průběhu procesu. Ke tvorbě modelů budu používat software Witness Horizon 22 a díky rozsáhlým statistikám, které

jsou výstupem z tohoto programu budu schopen vyhodnotit míru zlepšení, kterou přinese můj návrh.

# 1 CÍL A METODIKA PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce je návrh vedoucí ke zlepšení výrobního procesu. Hlavním cílem je vytvořit takový návrh, který zkrátí celkový čas procesu, respektive čas cyklu, který s tímto úzce souvisí. Pro řešení problému bude využito vytvoření digitálního dvojčete, sloužícího k predikci výsledků možných návrhů a vyhledání nejlepšího řešení. Při hledání nejlepšího řešení se budu snažit odstranit plýtvání a zvýšit poměr činností, které přidávají výslednému výrobku hodnotu. V rámci analýzy současného stavu zpracuji časový snímek procesu, ve kterém činnosti rozdělím podle toho, zda přidávají hodnotu konečnému výrobku a zjistím za jakou dobu je vyroben finální produkt. Ve svém návrhu se také zaměřím na zvýšení míry robotizace procesu a snížení počtu pracovníků, kteří jej provádí.

Jak už jsem zmínil v úvodu práce, v rámci návrhu, který povede k dosažení cílů mé práce, budu postupovat dle metodiky simulačního projektu. Po provedení analýzy procesu v analytické části tedy přistoupím k vytvoření digitálního dvojčete procesu a budu využívat prediktivní simulaci k návrhu jeho nové podoby. Experimenty, které budu s digitálním dvojčetem provádět, umožní predikovat výsledky navržených scénářů a najít tak nejlepší řešení. Při tvorbě digitálního dvojčete a experimentech s ním budu vycházet z metodiky simulačního projektu, kterou popíšu v teoretické části práce. Podkladem pro tvorbu digitálního dvojčete bude zmapování procesu a zpracování časového snímku jeho průběhu, které provedu. Celkový čas procesu se skládá z času činností, které přidávají hodnotu i těch, které hodnotu nepřidávají. Činnosti, které nejsou hodnototvorné se budu v rámci experimentů a jejich vyhodnocení snažit odstranit potažmo optimalizovat i činnosti hodnototvorné.

# 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

## 2.1 Procesní prostředí

S procesy okolo nás přicházíme do kontaktu téměř každý den a některé z nich jsou pro nás tak automatické, že už je ani nevnímáme. Procesy, které jsou prováděny při produkci výrobků či služeb je však často nutno mapovat, správně popsat a vyhodnotit dle nejrůznějších metrik. V této kapitole se pokusím popsat základní pojmy používané v procesním řízení.

**Proces**

Samotný proces můžeme definovat jako určitý sled logicky souvisejících činností či úkolů, vykonávaných za přítomnosti, potažmo aktivní účasti obsluhujícího personálu. Intelektuální nebo manuální působení obsluhujícího personálu vede ke tvorbě definovaného výsledného souboru výsledků, které mají přinášet hodnotu pro zamýšleného uživatele – zákazníka procesu. (1, s. 14)

**Procesní tok**

Pro pochopení procesního toku se musíme na procesy podívat z pohledu jejich vývoje v čase a také na jejich propojení v rámci organizace. Procesním tokem můžeme rozumět sled kroků, které reprezentují postupně se rozvíjející proces a zapojují do práce minimálně dvě osoby. Procesní tok vytváří hodnotu pro zákazníka, kterému má sloužit, případně pro organizaci, v níž je realizován. Procesní tok může uvnitř organizace procházet několika organizačními jednotkami, případně může být provázán i do okolního prostředí. Toto provázání může vést směrem k zákazníkům nebo subdodavatelům organizace. (1, s. 14)

**Činnost**

Za činnost považujeme nejmenší měřitelnou jednotku práce, která má za úkol transformaci vstupního prvku na předem definovaný výstup. Činnosti často přiřazujeme měřitelné údaje, které k ní logicky patří. Činnost má zpravidla také: určité trvání, logickou souvislost s jinou činností procesu a jsou k ní přiřazeny zdroje, které spotřebovává. (1, s. 15)

**Produkt procesu**

Je smyslem existence procesu. Vstupy procesu jsou přeměněny právě na hmotný nebo nehmotný výstup neboli produkt procesu, který vzniká za účelem uspokojení potřeb zákazníka procesu. (1, s. 16)

**Zákazník procesu**

Za zákazníka lze považovat vnější subjekt, který je za produkt procesu ochoten poskytnout směnnou hodnotu, zpravidla peníze a poté je tedy označován jako externí zákazník. Druhou variantou je však případ, kdy zákazníkem procesu je proces návazný v rámci organizace. V takovém případě se jedná o zákazníka interního. (1, s. 16)

### 2.1.1 Řízení a zlepšování procesů

Jako řízení procesu lze označit činnost, při které je využíváno znalostí, metod, nástrojů, schopností a systémů takovým způsobem, aby byly procesy popisovány, měřeny, řízeny a zlepšovány se záměrem co nejefektivnějšího naplnění potřeb zákazníka procesu. Mezi činnosti spojené s řízením procesů patří také korigovaní a usměrňování procesních toků, kontrola výkonosti a kvality a vyhodnocování toho, zda dosažené výsledky odpovídají předem stanovenému plánu. K řízení a směřování toku jednotlivých činností procesu jsou dnes ve velké míře využívány počítačové programy, které mohou být například ve výrobním podniku, uzpůsobeny přesně potřebám daného procesu. Díky datům, které můžeme pomocí těchto systémů zaznamenávat, jsme poté schopni procesy lépe analyzovat a můžeme tak vyhodnotit, zda a případně ve kterém místě je nutno procesy zlepšovat, respektive optimalizovat. Zlepšování procesů můžeme chápat jako postupnou činnost, která vede ke zlepšování kvality produktu, zvýšení produktivity nebo například ke zkrácení doby zpracování podnikového procesu. Odstraněním některých druhů plýtvání v procesech, tak můžeme například zrychlit průchod zakázky podnikem, potažmo snížit náklady a zvýšit tak svou konkurenceschopnost nebo zisk. (1, s. 18 - 19)

## 2.2 Výroba

Výrobu lze obecně chápat jako proces, přidávající hodnotu k výchozím zdrojům. Tvorbou přidané hodnoty tak dochází ke vzniku výrobků, produktů či služeb pro určitý trh, případně pro konkrétního zákazníka. (2, s. 178)

Podle Heřmana a Horové je výroba: *„základní fází hospodářského cyklu a patří mezi nejdůležitější činnosti lidstva. Má zabezpečit nezbytné podmínky pro existenci a rozvoj*

*lidské společnosti. Její úroveň, objem, kvalita a struktura závisí na dosaženém stupni poznání.“* (3, s. 86)

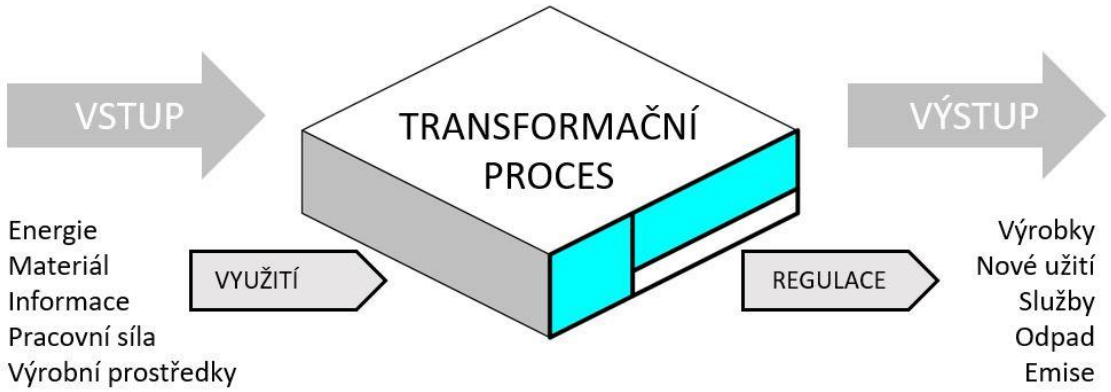
Výrobu je nutno orientovat a organizovat takovým způsobem, který nám pomůže dosáhnout cílů stanovených vedením podniku nebo firmy. Můžeme rozlišovat cíle obecné (např. maximalizace zisku, maximalizace hodnoty podniku nebo minimalizace nákladů) a cíle specifické (obchodní, výrobní, dosažení určité úrovně kvality, zvýšení konkurenceschopnosti apod.). (3, s. 86)

### 2.2.1 Výrobní proces

Ve své bakalářské práci se budu zaměřovat na výrobní proces v průmyslovém podniku. Výrobním procesem rozumíme přeměnu výchozí suroviny či materiálu na konečný, kvalitativně vyhovující výrobek. Během plnění úkolů výrobní činnosti, dochází k uskutečňování řady činností jednotlivými útvary podniku – transformaci vstupu na výstup, pohybu materiálu a přenosu informací. (3, s. 87)

### 2.2.2 Transformační činnost

Průmyslová produkce výrobků má zpravidla jasně definovaný výstup, který vzniká tím, že se vstupní faktory, především materiál, podrobí transformačnímu procesu. Během úspěšné přeměny vstupů na požadovaný výstup, je nutná účast lidských zdrojů (pracovní síly) a podnikových prostředků (stroje, nástroje, přípravky, výpočetní technika apod.) (4, s. 47)




**Obrázek č. 1: Transformační proces** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 5, s. 26)

Tyto přeměny bývají dosahovány zpravidla fyzikální cestou, tedy působením vnějších sil na zpracovávanou surovinu či materiál. Účinkem může být změna tvaru či velikosti. Kromě fyzikální cesty, můžeme změny způsobit i cestami chemickými, biochemickými

či genetickými. Při použití těchto druhů zpracování dochází však k pokročilejším kvalitativním změnám složení zpracovávaného produktu. Výrobní procesy lze tedy rozdělit na: mechanické, chemické a biochemické. Dle charakteru průběhu procesu, lze výrobní procesy dále dělit na: přetržité, nepřetržité a cyklické. (3, s. 86)

**Přetržité procesy**

Jsou takové procesy, které se odehrávají na jednom místě, respektive za použití jednoho výrobního zařízení. Výrobní zařízení je naplněno určitou dávkou suroviny, která se během procesu přemění. Na konci tohoto procesu se z výrobního zařízení odeberou konečné produkty a celý proces se může opakovat s další dávkou. Jako příklady lze uvést výrobu strojních součástí pro automobilový průmysl, výrobu oceli v konvertorech nebo proces výroby piva. (3, s. 87)

**Nepřetržité procesy**

Jsou typické stálým přívodem suroviny do výrobního zařízení, ve kterém jsou zachovávány neměnné (ustálené) podmínky výroby ve všech fázích výroby. Tyto procesy jsou místně ustálené, což znamená, že v daném místě se provádí konkrétní fáze přeměny (zahřívání, chlazení, míchání apod.) Mezi nepřetržité procesy můžeme zařadit výrobu surového železa, výrobu papíru či výrobu cementu. (3, s. 87)

**Cyklické procesy**

Jsou takovými procesy, kde dochází k návratu nezreagovaných látek, u nichž neproběhla požadovaná změna, zpět na vstup, tedy na začátek tohoto procesu. Dochází zde k cirkulaci částí základní suroviny v uzavřeném cyklu. Příklady takovýchto procesů jsou zpracování ropy a výroba čpavku. (3, s. 88)

### 2.2.3 Materiálové toky

Během výrobního procesu dochází k předávání materiálu či rozpracované výroby mezi jednotlivými transformačními kroky. Tento pohyb mezi jednotlivými útvary v rámci produkčního procesu nazýváme materiálovými toky. Jedná se o neoddělitelnou součást výrobního procesu, která však nepřidává žádnou hodnotu vytvářenému produktu, ani vyšší užitek konečnému spotřebiteli. Je tedy snaha tyto toky optimalizovat a minimalizovat. (3, s. 86)

### 2.2.4 Přenos informací

Předávání informací mezi jednotlivými útvary, které se podílí na tvorbě produktu, potažmo výrobku, slouží nejen ke koordinaci transformačních kroků a materiálových toků, nýbrž také ke sběru informací o výrobním procesu. Tyto data nám mohou mimo jiné sloužit ke zlepšování výrobního postupu, technologií apod. za účelem plnění jak krátkodobých, tak i dlouhodobých cílů. (3, s. 86)

Jako vstupy transformačního procesu, lze označit širokou škálu výrobních faktorů. Dle německého ekonoma Ericha Gutenberga (1897 – 1984) lze tyto výrobní faktory rozdělit následovně:

**Elementární faktory** tvořící fyzickou podstatu výrobního systému, které je možno dále dělit na faktory:

**Potenciální**, kterými jsou pracovní síla a výrobní prostředky, které svým použitím v procesu nepozbydou svého účinku v ohraničeném časovém období. (např. pozemky, budovy, sklady, manipulační technika apod.)

**Spotřební**, které se během svého užití v procesu zcela spotřebují.

- Materiály tvořící části výrobku (suroviny, polotovary, cizí díly a výrobky, součástky apod.)
- Materiály tvořící nepodstatnou část výrobku (pomocné materiály)
- Provozní (režijní) materiály
- Obchodní zboží (nakupované položky tvořící část dodávaného výrobku spolu s vlastními produkty)

**Dispozitivní faktory**, kterými jsou řídící složky a nástroje (např. management výroby)

Produkt je tvořen postupným zpracováním nakupovaného materiálu. Z tohoto surového materiálu se během výrobního procesu stávají nejprve jednoduché základní části, respektive díly, které následně tvoří dílčí funkční celky neboli podsestavy. Podsestavy většinou nemohou plnit samostatně požadovanou funkci, avšak mohou být použity například jako náhradní díly. Zpravidla se však podsestavy používají při montáži sestav, což jsou technicky složitější celky. Sestavy jsou v některých případech schopny plnit i samostatnou funkci požadovanou od produktu a odlišují tak zpravidla rozhodujícím způsobem různé výrobky z hlediska jejich konečné podoby. Ze sestav bývá složen finální produkt, který je požadovaným výstupem výrobního procesu. Výrobek může být

standardního charakteru, případně může být přizpůsoben konkrétním požadavkům zákazníka. (5, s. 26 – 27)

### 2.2.5 Plýtvání ve výrobních procesech

Jak už jsem zmínil výše, při zlepšování procesů je nutno se zaměřit na plýtvání, ke kterému v průběhu sledovaného procesu dochází a přistoupit k nápravným opatřením. Jelikož se v analytické části své práce budu zaměřovat na výrobní proces, rozhodl jsem se uvést nejčastější typy plýtvání, právě ve výrobních procesech. Při produkci výrobků ve výrobním prostředí dochází k následujícím sedmi druhům ztrát:

1. Nadprodukce

Jak už je zřejmé z názvu tohoto typu plýtvání, jedná se o vyrábění nadbytečného množství výrobků. K tomuto jevu dochází nejčastěji v situaci, kdy chceme vykazovat větší efektivitu využití výrobní kapacity nebo pokud si chceme vytvořit jakousi rezervu, kterou bychom mohli použít v případech poruchy výrobního zařízení. V důsledku nadprodukce nám však vzniká větší potřeba skladovacích prostor, pro dodatečně vyrobené výrobky a je také nutné se zaměřit na to, zda zvýšení produktivity výroby není v rozporu se zvýšením celopodnikové produktivity. Pokud si nadprodukcí chceme vytvořit zásoby pro případ poruch výrobních zařízení, je rovněž na místě, podniknout opatření, která by možné poruchy omezila. (2, s. 88)

2. Nadbytečné zásoby

K tomuto druhu plýtvání dochází v podnicích tehdy, jsou-li tvořeny zbytečně velké zásoby materiálu, náhradních dílů, komponent, rozpracovaných, nebo i hotových výrobků. Všechny druhy zásoby vyvolávají opět větší potřebu skladovacích prostor

a navíc v sobě mohou vázat značné finanční prostředky, které by mohly být jistě využity daleko efektivněji. (2, s. 88)

3. Defekty

Defektem se rozumí vznik neshodných a nekvalitních výrobků. Vznik zmetků a neshodných výrobků vytváří zbytečné náklady a jelikož musí dojít k vyřazení zmetků, případně k opravě neshodných výrobků, je tento druh plýtvání časovou i finanční přítěží podniku. Kromě nákladů na opravy navíc hrozí poškození výrobního zařízení těmito výrobky. (2, s. 88 – 89)

4. Zbytečná manipulace

Při produkci výrobků dochází k četné manipulaci s výrobkem, ať už pomocí strojního zařízení (např.: robotické ruky), nebo manuálně, při opracování na ručních pracovištích. Jako zbytečný pohyb se dá tedy označit každý, který výrobku nepřidává nějakou hodnotu, nebo jej nijak neposune dále, ke konečnému zpracování. Ke zbytečné manipulaci s výrobkem, komponenty či materiálem může docházet například kvůli špatnému rozmístění pracovišť. Při analýze procesu je tedy nutno se na tuto oblast zaměřit a snažit se zbytečné pohyby minimalizovat. (2, s. 89)

5. Špatné zpracování

K plýtvání může dojít také v důsledku chyb během technologického procesu výroby. Tímto druhem plýtvání, se myslí ztráty, způsobené kupříkladu špatným chodem výrobního zařízení (př.: otřepy na plastovém výrobku vzniklé použitím tupého nože při ořezávání). Řadí se sem ale také špatné rozmístění operací na výrobní lince nebo příliš náročná technologie kontroly kvality. (2, s. 89)

6. Čekání – prostoje

Už z názvu tohoto druhu plýtvání je zřejmé, že jde o časové ztráty. Nejčastěji se jedná o prostoje při opravě a seřizování výrobního zařízení nebo o čekání na materiál, který má být zpracován. Plýtvání však může být způsobeno i nerovnoměrnou výrobou (např. špatné nastavení taktu linky), nedostatkem informací nebo nadměrnou byrokracií. (2, s. 89)

7. Doprava

Za ideálních podmínek by se doprava spojená s výrobním procesem zúžila pouze na transport materiálu do podniku a odvoz hotových výrobků z něj. K takovému případu ovšem zpravidla nedochází a při převozu mezi jednotlivými operacemi nebo útvary musí být realizována vnitropodniková doprava. Tu nejčastěji realizujeme pomocí manipulační techniky jako jsou paletové či vysokozdvižné vozíky. Jelikož se s ní pojí značné náklady, musíme se ji v praxi snažit co nejvíce optimalizovat. (2, s. 89)

Na závěr této kapitoly je potřeba zmínit, že při odstraňování problémů s jakýmkoliv z druhů plýtvání, je nutno pátrat po kořenových příčinách daného problému. Jedině tehdy jsme totiž schopni navrhnout efektivní opatření.

## 2.3 Metodika Lean Six Sigma

### 2.3.1 Lean

Metodologie Lean byla vyvinuta v 50. letech 20. století v Japonsku, firmou Toyota. Měla být alternativním řešením k hromadné výrobě v prostředí, v němž byla vyžadována vysoká úroveň flexibility, spolu s co možná nejnižšími náklady na změny.

Metodologie byla vyvinuta zejména pro použití ve výrobní sféře, avšak našla uplatnění i ve službách a administrativě. Hlavní myšlenka této techniky spočívá ve sdružení principů a metod, sloužících k identifikaci a eliminaci činností, které během procesu tvorby výrobků či služeb, nepřináší žádnou hodnotu. Hodnotu můžeme definovat jako výrobek nebo službu, která pokrývá nějakou potřebu zákazníka procesu. Při zkoumání procesu je potřeba identifikovat činnosti, které tuto hodnotu vytváří a naopak ty, které nejsou hodnototvorné a jsou zdrojem plýtvání. Na zkoumaný proces je nutno pohlížet jako na sled činností, které nemusí být prováděny pouze v jedné organizační složce dané organizace, jelikož procesní tok zpravidla proudí napříč různými odděleními dané organizace, případně zasahuje i vně organizace, ať už k subdodavatelům, nebo zákazníkům procesu. Technika Lean uvažuje také to, že spuštění procesu může být vyvoláno právě iniciováním startu procesu zákazníkem. V praxi to může znamenat například to, že se začne daný produkt vyrábět až tehdy, kdy si o něj zákazník řekne. Použitím techniky Lean se snažíme dosáhnout dokonalosti, což znamená, že se pokoušíme co nejvíce snížit úsilí, které musí být během procesu vynaloženo ke vzniku produktů. Zároveň eliminujeme časovou, nákladovou i prostorovou investici, kterou je nutno vynaložit, a to vše za snižování počtu chyb a závad. Tato technika si vyžaduje cyklický přístup k inovaci procesů a zlepšování je dosahováno postupnými, menšími zlepšovatelskými kroky a celkového zlepšení procesu je tak dosahováno ve vícero fázích. Důležitým aspektem při zlepšování procesů je jejich řádná standardizace a dokumentace. Před samotným začátkem zlepšování tak musí být ověřeno, zda procesy opravdu fungují tak, jak jsou popsány. (1, s. 32 - 33)

Tuto metodologii tedy používáme tam, kde je nutno zvýšit výkonost procesů a snížit operační náklady. Jak už jsem výše zmínil, je potřeba rozlišit činnosti podle toho, zda výslednému produktu přidávají hodnotu, či nikoliv. Je potřeba si definovat, jaké nároky

na proces kladou jeho zákazníci, respektive, co je hodnotou, kterou požadují na výstupu. Činnosti prováděné v průběhu procesu přístup Lean dělí následovně:

- Činnosti hodnototvorné (anglicky: *Value-Adding*): Jsou to takové činnosti, za jejichž provedení je zákazník ochoten zaplatit
- Činnosti nehodnototvorné (anglicky: *Non-Value-Adding*): Tyto činnosti lze dále rozdělit na:
    - Činnosti, které jsou v průběhu procesu potřebné, avšak pro zákazníka nemají přímý význam a nelze je promítnout do ceny (anglicky: *Business-Non-Value-Adding* nebo *Essential-Non-Value-Adding)*
    - Činnosti, které nejsou pro průběh procesu potřebné a lze je označit za plýtvání

Po takovémto roztřídění činností procesu jsme schopni se zaměřit na omezení činností, které nepřidávají hodnotu výslednému produktu a také na zlepšení těch činností, které hodnotu pro zákazníka procesu tvoří. (1, s. 32 - 36)

**Analýza procesního toku**

Během analýzy procesu je nutno nalézt úzká místa procesu, které jeho výkonnost snižují. Takovýmto místem může být například pracoviště výrobní linky, které má oproti ostatním pracovištím nízkou kapacitu a zpomaluje tak celkový tok produktů procesem. Produkty, vytvořené předchozími operacemi musí být před tímto úzkým místem skladovány a dochází tak ke vzniku zdroje časového a prostorového plýtvání. Zajištění hladkého průchodu takovýmto úzkým místem si bude vyžadovat nápravná opatření, např.: zvýšení počtu výrobních zařízení, dodatečné proškolení personálu apod. (1, s. 37)

**5S/7S**

Jedná se o jeden z nástrojů, který je používán v rámci Lean přístupu. Pomáhá nám definovat základní pravidla každého procesu. Označení tohoto nástroje vychází z anglických názvů jeho jednotlivých části: (Sort, Straighten, Sweep, Standardize, Sustain). Pro podrobnější popis níže budu používat české názvy. (1, s. 39)

1. Třídění (Sort) – Je nutno roztřídit činnosti dle jejich přínosu a úrovně potřebnosti a na základě toho vyloučit činnosti, které nejsou nezbytné. (1, s. 39)
2. Umisťování (Straighten) – Prostředky používané během procesu musí mít své určené a předem označené místo. Je také nutné, aby byly tyto prostředky správně

rozmístěni na pracovišti a byla tak zajištěna plynulost a efektivita pracovního výkonu. (1, s. 39)

3. Úklid (Sweep) – Pracoviště, na kterém se proces provádí, musí být udržováno v takovém stavu, který zajišťuje kvalitu prováděných úkonů. Pořádek na pracovišti musí být udržován průběžně, aby byly zajištěny stejné podmínky pro každý cyklus. Není přípustné, aby k úklidu došlo až tehdy, kdy je na pracovišti přílišný nepořádek. (1, s. 39)
4. Standardizace (Standardize) – Pracovní postupy předávané pracovníkům, kteří vykonávají operace jsou zpracovány tak, aby byla zajištěna opakovatelnost úkonů. Pakliže je úkon vykonáván více pracovníky na různých pracovištích, musí být tyto činnosti vykonávány totožně. (1, s. 39)
5. Udržení (Sustain) – Dodržování pracovních postupů, návodů a pravidel, která jsme nastavili v přechozích krocích musíme pravidelně kontrolovat, aby neklesala úroveň prováděného procesu. (1, s. 39)

V některých případech bývají uváděna ještě další dvě pravidla. Jedná se o pravidla, která souvisí s fyzickou bezpečností pracovního prostředí a s vytvořením motivujícího pracovního prostředí, které efektivně využívá lidský kapitál a inteligenci. (1, s. 39)

### 2.3.2 Six sigma

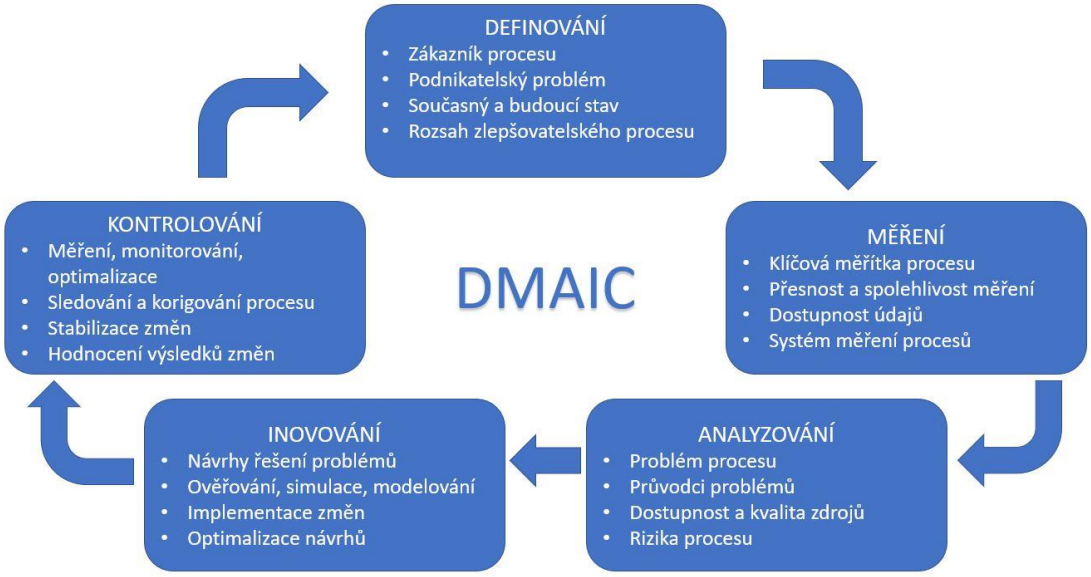
Předchůdcem této metodiky byla technika TQM (anglicky: *Total Quality Management*), která ovšem jako kvalitu, označovala spíše míru splnění interních požadavků. Six sigma ke kvalitě jako takové přistupuje poněkud rozdílně a jako kvalitu označuje podnikatelský motor pro zvýšení profitability podniku tím, že se zaměřuje na zvýšení hodnoty dodávané zákazníkům a na celkovou efektivitu procesů. Metodologie Six sigma se stala velmi populární mezi řadou podniků. Dle Svozilové: *„společnosti Motorola v letech 1986 až 2002 přinesla tato technika přínosy v hodnotě 20 miliard dolarů.“* (1, s. 41)

Metodologie Six sigma se pohybuje ve dvou rovinách hodnocení a rozeznává „potenciální kvalitu“, která vyjadřuje jakost, které lze danými prostředky dosáhnout, a „skutečnou kvalitu“, která reprezentuje úroveň, které daný proces skutečně dosahuje. Zaměřuje se na zvyšování „skutečné kvality“ tím, že pomáhá produkty vyrábět s minimem závad, v plynulém procesním toku a s minimem plýtvání. Tento přístup tedy najde uplatnění zejména v procesech, u kterých je nutno snížit variabilitu vlastností jeho

výstupů a chybovost. Nástroji, které při užití této techniky budeme používat, bychom měli minimalizovat příčiny vzniku závad, zvýšit kvalitu výstupů, snížit operační náklady, zvýšit výkonnost procesu a také eliminovat závady způsobené jinými než běžnými vlivy. (1, s. 41)

**DMAIC**

Tento nástroj je zřejmě nejrozšířenějším v oblasti zlepšovatelských projektů. Hledání příčin vzniku odchylek a jejich následná náprava probíhá v cyklu DMAIC (anglicky: *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), což lze do češtiny přeložit jako: Definování, Měření, Analyzování, Inovování, Kontrolování. Každá z těchto fází má své specifické úkoly. Na obrázku č. 2 níže jsou přehledně znázorněny jednotlivé fáze a jejich zaměření. Níže jednotlivé fáze podrobněji popíšu. (1, s. 41, 42, 89)




**Obrázek č. 2: Cyklus DMAIC** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 1, s. 89)

Definování

V první fázi cyklu DMAIC je nutno dostatečně specifikovat zadání zlepšovatelského projektu a jasně vymezit řešený problém. Musíme provést jednoznačný a dostatečně podrobný popis projektu a adekvátně určit také jeho rozsah vzhledem k řešení v rámci jednoho projektu. Je nutné navrhnout metody a postupy, které budou v rámci projektu použity a definovat projektové role. Během tvorby zadání konkrétního projektu probíhá také modelovací činnost, sloužící k popisu aktuálního stavu zlepšovaného procesu. Za

účelem vyhodnocení přínosů a rizik, tedy musíme začít provádět analytickou a odhadovací činnost. V této fázi procesu DMAIC dochází zpravidla k tvoření vývojových diagramů a procesních modelů, které jsou nástroji, sloužícími k přehledné dokumentaci skutečného průběhu procesu, potažmo procesního toku. V rámci popisu průběhu procesu jsme také často schopni si jednotlivé činnosti procesu rozdělit na hodnototvorné a nehodnototvorné. (1, s. 90-91)

Měření

V této fázi cyklu DMAIC musíme získat údaje o současném chování zkoumaného procesu a navrhnout komplexní kontrolní systém měření, který umožní sledovat vývoj zlepšovatelského projektu. Je nutno si jasně určit, jaké faktory se podílejí na vzniku problému v procesu. Například tak můžeme zjišťovat, co se skrývá za nedostatečnou kvalitou nebo za nízkou výkonností procesu. Pokud chceme daný proces zlepšovat, musíme nejprve určit, co přesně je zapotřebí zlepšit. Výstupem fáze měření jsou jasně definovaná měřítka výkonnosti procesu a úplné porozumění tomu, jak proces v současnosti funguje. Sběrem potřebných údajů a naměřením skutečných hodnot získáme potřebné znalosti o průběhu procesu, které budeme potřebovat v další fázi. (1, s. 93)

Analyzování

Úkolem tohoto kroku je vyhodnotit shromážděné údaje a za použití grafických, statistických a matematických nástrojů nalézt příčiny, které stojí za vznikem odchylek mezi současnou výkonností procesu a cílovým stavem. Smyslem analýzy je odhalení trendů a odchylek naměřených hodnot, které nám pomůže identifikovat problémová místa procesu. Je potřebné identifikovat potenciální příčiny problémů v procesu, čehož můžeme dosáhnout použitím analytických metod pro hledání příčin a důsledků. Jednou z nejznámějších metod, která se používá je tzv. Ishikawův diagram, známý také pod názvem „rybí kost“. Použitím těchto metod sestavíme seznam možných vlivů a vyhledáme charakteristické problémy. Díky naměřeným datům můžeme vybrat skupinu vlivů, které podrobíme důkladné analýze. Při důkladné analýze se poté provádí potřebné grafické a statistické analýzy, mezi které patří např. Paretův diagram. Výsledkem analýzy by poté mělo být určení zdrojů vzniklých odchylek a vyhodnocení závislostí jevů, které nastaly i příčin, které je vyvolaly. (1, s. 96 – 99)

Inovování

Poté, co bylo zjištěno, jaké problémy v průběhu procesu vznikají, přichází fáze, ve které se budeme snažit problémová místa procesu odstranit. Součástí návrhu možných variant řešení problémů je kreativní práce, během které například navrhujeme nové pracovní postupy, stanovujeme technologické změny či měníme organizaci práce. Pokud jsme si dříve vytvořili model procesu, například pomocí vývojových diagramů, nyní jej můžeme znovu použít. Díky naměření a zanalyzování hodnot již víme, na která místa je nutno se v rámci inovace zaměřit. Uvažované změny můžeme před jejich implementací do reálného procesu nejprve aplikovat na vytvořený model, čímž si můžeme ověřit, jaké budou jejich dopady v praxi. Díky dnešním možnostem počítačové, prediktivní simulace můžeme v tomto bodě učinit to nejlepší rozhodnutí, jelikož jsme schopni si porovnat zamýšlené varianty bez nutnosti jejich implementace přímo do skutečného procesu. Poté, co vybereme vhodné řešení, je potřebné stanovit implementační plán, časový rozvrh a hlavní milníky, ve kterých budou změny realizovány. (1, s. 100-102)

Kontrolování

Po implementaci opatření, které nám pomohou zlepšit proces je nutné provedené změny dále kontrolovat a řídit. V této fázi musíme navrhnout plán řízení a kontrol, ve kterém definujeme proaktivní měřítka, která budeme používat a definujeme sledované veličiny. S implementací přichází také potřeba aktualizace související procesní dokumentace a rozpracování potřebných standardů a provozních procedur. S tím může souviset například opětovné měření stanovených veličin a analýza naměřených odchylek, rozptylů a trendů a následné vyhodnocení výsledků implementace. Na základě toho můžeme provést zhodnocení úspěšnosti projektu a pokud byly provedené změny shledány za užitečné, může následovat převedení do standartního provozu. (1, s. 103 - 105)

### 2.3.3 Kombinované metody Lean Six Sigma

Výše byly popsány metodiky Lean a Six Sigma samostatně. V praxi však dochází k využívání kombinací technik, které jsou do obou metodik zahrnuty. Nástroje Lean je vhodné použít zejména tam, kde se zabýváme časem a problémy procesního toku. Nástroje Six Sigma poté tam, kde snižujeme chybovost a upravujeme procesy ve smyslu zvyšování kvality výstupů. (1, s. 100)

Při použití kombinovaných metod Lean Six Sigma využíváme zpravidla cyklickou aplikaci zlepšovatelských iniciativ, soustředění na problémy zákazníka a omezujeme plýtvání, dle metodiky Lean. Používáme však také strukturovaný proces DMAIC, řízení zlepšovatelských procesů soustředěných do projektů, analytické a statistické nástroje na zjištění původu problémů nebo propracované vzdělávací systémy, které vychází z metodiky Six Sigma. Největší výhodou spojení těchto dvou metodologií je současné zaměření na výkonnost procesu i na stabilní kvalitu výstupů, použitím standardních postupů a analytických nástrojů. (1, s. 48)

**Základní principy Lean Six Sigma**

Přístupy, které mají základ v technice Lean Six Sigma se zpravidla zakládají na následujících principech:

- Orientace na zákazníka: Tým, podílející se na analyzování procesu a návrhu jeho zlepšení, musí mít na paměti, že právě ten, pro koho je proces tvořen určuje vlastnosti, které má mít výsledek procesu.
- Podniková kultura: Zlepšování procesů je postupné a cyklické a je nutno, aby bylo zakořeněno i do podnikové kultury.
- Zapojení managementu: Chceme-li, aby byl zlepšovatelský projekt úspěšný a přinesl zlepšení, je nutno, aby byli vyšší, nebo vyšší střední manažeři postaveni do role „šampióna procesu“, čímž vznikne jejich přímé zapojení do projektu. Díky tomu, že se manažer aktivně účastní na zlepšovatelských aktivitách, získá větší kontrolu nad implementací zamýšlených změn a také je schopen dlouhodobě dohlížet na efekty implementovaných změn.
- Systematické zlepšovatelské programy: Six Sigma se soustředí na systematický výběr projektů. Je potřeba, aby bylo definováno, jaká témata v rámci zlepšovatelských programů jsou nejpodstatnější.
- Koordinovaný růst znalostní základny: Kvalifikovaní pracovníci jsou součástí projektu po celou dobu jeho cyklu. Po úspěšném zavedení změn se vrací do procesu a podílí se na dlouhodobém udržování provedených změn. Je nutno, aby měli potřebné teoretické i praktické znalosti, pracovali s procesem jako s celkem a chápali jeho souvislosti, čímž budou přispívat k jeho dalšímu zlepšování.
- Strukturovaný metodický přístup: Při použití nástrojů Lean Six Sigma je nutné, abychom na analyzovaný problém nahlíželi jak horizontálně, tak vertikálně.

Horizontální rozměr zkoumá materiály či služby, které procesu poskytují jeho dodavatelé a tyto vstupy proces transformuje do výstupů, které slouží zákazníkovi procesu. Vertikální pohled bere v potaz příčiny jevů, které mohou svými důsledky působit na kvalitu prováděných operací, respektive na celkový výstup.

- Rozhodování na základě faktů: Metodologie Lean Six Sigma pokládá za velmi důležitou součást také měření. U každého projektu je nutno jasně vymezit cíl, aby bylo možno po realizaci projektu vyhodnotit, zda jsme tohoto cíle dosáhli, nebo byli schopni vyhodnotit v jaké míře byly určité parametry procesu ovlivněny. Systémy měření musíme dobře navrhnout a naměřená data musíme důkladně ukládat a vyhodnocovat. V rámci projektů jsou v naprosté většině sledovány i finanční údaje, jelikož je nutno sledovat náklady, které jsme na projekt vynaložili. (1, s. 67 – 68)

**Organizační struktura iniciativ Lean Six Sigma**

Projektové role Six Sigma

Zlepšovatelské projekty či programy, které jsou založeny na metodologii Six Sigma by měly být realizovány týmem, který bude mít předepsanou kvalifikační strukturu. Six Sigma musí být přijata jako hlavní filozofie podnikového myšlení a členové organizace musí být školeni všeobecně. Je nutné, aby všichni potenciální členové týmů měli všeobecné znalosti, které budou základem pro jejich obsazení do projektového týmu. Před zahájením konkrétního projektu musíme jmenovat a případně doškolit zaujaté a talentované odborníky. Jednotlivé úrovně a strukturu Lean Six Sigma iniciativ můžeme vidět na obrázku č. 3 pod touto kapitolou. (1, s. 79)

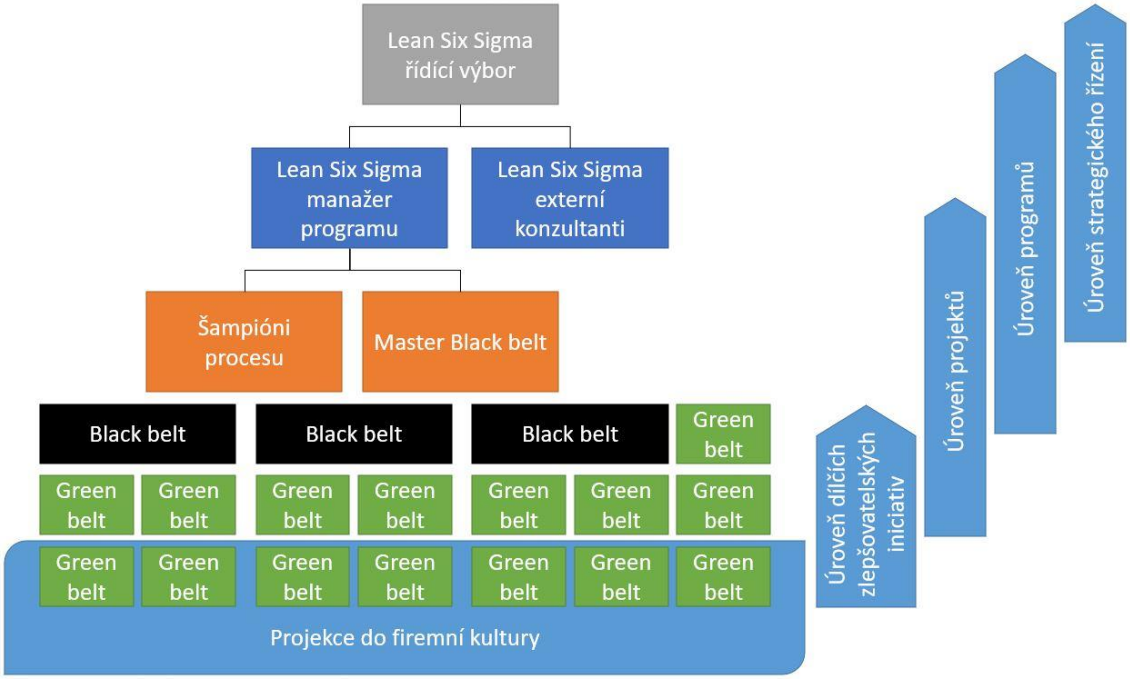
Green Belt: Pracovníci zařazení na této úrovni, již mají zkušenosti a znalosti potřebné k realizaci projektu. Spolupracují s Black Beltem a zabývají se vyhledáváním a vyhodnocováním příležitostí ke zlepšení. Z těch vyberou ty, které jsou potřebné a mohli by být účinné. Podílejí se poté i na jejich implementaci v praxi a po dokončení projektu se vrací zpět ke své běžné práci v rámci procesu. (1, s. 79)

Black Belt: Obvykle se jedná o zaměstnance, kteří mají vyšší kvalifikaci než ti, kteří jsou na úrovni Green Belt. Tento člen týmu má znalosti z funkční oblasti, ale je postaven především do vůdčí role zlepšovatelských iniciativ a projektů. Jejich úlohou je příprava a vedení Green Beltů, šíření poznatků týkajících se projektu či procesu napříč organizací

a spolupráce s vyšším managementem a sponzorem projektu na hledání příležitostí a jejich analýze. (1, s. 79 - 80)

Master Black Belt: Tato pozice musí být obsazena pracovníkem, který má dlouhodobé zkušenosti a praktické znalosti metodologie Six Sigma, případně i dalších zlepšovatelských metodologií. Přebírá na sebe technickou a organizační zodpovědnost za daný projekt. Musí rozumět statistickým analýzám a chápat souvislosti mezi různými znalostními oblastmi, které s projektem souvisí. Mezi jeho kompetence patří vedení skupiny Black Beltů, kterým radí při praktické realizaci projektových úkolů a vedení programu odborných školení. (1, s. 80)

Sponzor: Má pravomoc jmenovat jednotlivé členy zlepšovatelského týmu a je nejvyšším vlastníkem daného projektu. Zastupuje podnikový management a je odpovědný za určení směru projektu a schválení nebo sestavení omezení a doporučení pro řešení projektu. Je nutné, aby ustanovil projekt, takticky jej řídil a byl nápomocen tehdy, kdy je potřeba odstranit překážky. (1, s. 80)




**Obrázek č. 3: Organizační struktura Lean Six Sigma iniciativ** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 1 s. 80)

## 2.4 Modelování procesů

Mezi nástroje, které pomáhají při zlepšování procesů patří jednoznačně modely procesů, které v rámci zlepšovatelských projektů zpravidla bývají tvořeny. Mezi základní prvky každého modelu patří:

- Proces: Vždy je modelován jako struktura na sebe navázaných činností
- Činnost: Může to být jednotlivý úkon prováděný v rámci procesu. I činnost by se však mnohdy dala považovat za další, samotný proces, respektive subproces. Zda bude i činnost popsána jako samotný proces vždy záleží na podrobnosti tvořeného modelu.
- Podnět: Je základem pro vyvolání činnosti a může jim být buď vnitřní nebo vnější skutečnost. Podněty činností, které přichází z okolí procesu, jsou považovány za vnější a označujeme je jako události. Vnitřním podnětem bývá zpravidla situace, v níž se činnost nachází. Tento vnitřní podnět bývá označován jako stav procesu.
- Návaznosti a vazby: Jsou spojnicemi jednotlivých činností a pomáhají dotvářet konečnou strukturu procesu. (6, s. 71)

Existuje celá řada metodik a standardů modelování procesů. Těmi nejznámějšími a nejpoužívanější jsou například: ARIS (anglicky: *Architecture of Integrated Information Systems*) nebo BPMN (anglicky: *Business Process Management Notation*). (6, s. 73, 125)

V dnešní době se k modelování procesů stále ve větší míře využívají počítačové programy, které jsou schopny vytvářet simulační modely zkoumaných procesů.

### 2.4.1 Průmyslová digitalizace

**Průmysl 4.0**

Průmysl 4.0 neboli Industry 4.0 je strategií německé vlády, jejíž hlavní myšlenkou je digitalizace průmyslu na základě kyber-fyzikálních systémů se kterými se setkáváme ve všech oblastech života. Nejedná se tedy o pouhou automatizaci výrobních systémů, nýbrž o komunikaci těchto systémů, jejich součástí a uživatelů pomocí internetu. Hlavními cíli programu Industry 4.0 jsou především:

- Standardizace (zavedení efektivního systému propojení mezi společnostmi)
- Bezpečnost (zaručení ochrany zdraví, osobních údajů i IT bezpečnosti)
- Bezpečná a dostačující infrastruktura
- Organizace práce a tvorba pracovních míst
- Vzdělávání a odborná školení pracovníků
- Právní předpisy (cílem je sjednocení právních předpisů v rámci Evropy)
- Efektivní využívání všech zdrojů

- Ovládání komplexního systému (využití modelů k automatizaci činností a propojení digitálního a reálného světa)

Jedním z nástrojů, které mají při plnění cílů programu Industry 4.0 pomáhat je tzv. Internet věcí (angl.: *Internet of things*). Ten má představovat propojení výrobních strojů, automatizačních prvků i fyzických komponent s IT zařízeními v rámci digitální továrny. Data, která budou v rámci této komunikace spravována, budou sloužit ve výrobním procesu, v logistice a také při následné recyklaci výrobků. (2, s. 63 – 65)

### 2.4.2 Simulační modelování

**Digitální dvojčata**

Vývoj celého průmyslového odvětví a jeho digitalizace vede k tomu, že každá společnost se tomuto trendu potřebuje přizpůsobit a nabídnout zákazníkovi co nejvyšší hodnotu s vynaložením optimálních, ideálně co nejnižších, nákladů. Cestou, kterou se mnohé společnosti vydávají je využívání digitálních dvojčat. Ty jsou modelem fyzických objektů či procesů a jsou skvělým nástrojem pro pochopení vazeb a určení dopadu zamýšlených změn na celkový výkon systému i na jeho dílčí části. Uplatňují se zejména pro simulaci, predikci a optimalizaci ještě před reálnou investicí a fyzickými zásahy do systému. Jsou tedy významným nástrojem pro snížení nákladů a minimalizaci rizik. (7; 8)

Digitální dvojče produktu

Potřebujeme-li zanalyzovat současnou výkonnost produktu, nebo chceme testovat jeho chování za různých okolností, je vhodné, vytvořit jeho digitální dvojče. Na základě výsledků testů poté můžeme navrhnout jeho inovovanou podobu bez toho, aniž bychom museli vyrábět fyzické prototypy. Využití je samozřejmě možné i při vývoji nového výrobku a v obou případech dosáhneme výrazné úspory času a nákladů. (8)

Digitální dvojče procesu

V případě, kdy je nutno optimalizovat stávající, případně navrhnout novou podobu procesu, jsme opět schopni k tomuto účelu využít digitální dvojče. Díky simulaci průběhu procesu jsme schopni analyzovat, jaký bude průběh procesu a jakými zásahy můžeme ovlivnit jeho výsledky ještě předtím, než dojde k opravdové investici. Analýzou a zpracováním dat získáme podklady pro rozhodování. Jako příklad lze uvést výběr ideální varianty prostorového uspořádání výrobní linky nebo návrh logistického centra. (8)

### 2.4.3 Metodika simulačního projektu

**Simulace diskrétní události**

Předtím, než se budu zabývat samotným popisem metodiky simulačního projektu, je nutno si říct, že modely procesů můžeme členit na statické či dynamické dle toho, jak se mění v čase a podle výskytu náhodných proměnných poté na deterministické a stochastické. Lze je také dělit na diskrétní, kde se mění veličiny skokově v daných časových bodech a plynulé, kde dochází ke změně veličin průběžně. Technologické projektování využívá diskrétní modely, s nimiž souvisí tzv. simulace diskrétních událostí. Jedná se o simulaci, která zaznamenává změny stavových veličin v konkrétních časových bodech. Tyto veličiny se mění v daném časovém bodě tehdy, když se změní stav systému. Příkladem může být obsluha klientů v bance, jelikož příchod klienta vyvolá skokovou změnu počtu přítomných klientů, kteří čekají na obsloužení. Tato simulace nachází uplatnění především při analýze dynamického chování reálného, nebo projektovaného procesu či systému. Můžeme se také zaměřit na to, jak bude systém reagovat na změnu některých parametrů modelu, tedy provést tzv. „What if analýzu“, což bychom do češtiny mohli přeložit jako: „Co se stane když“. Díky takovéto simulaci jsme schopni porovnat výkonnost různých variant řešení problému a také simulovat experimenty, které by v praxi nebyly proveditelné. (9, s. 7 – 9; 10, s. 5 – 6, 11, 13)

V praxi se s těmito simulacemi setkáme především tam, kde je potřeba:

- Optimalizovat výrobní systém (např.: zkrátit čas výroby, snížit náklady, zvýšit produktivitu, navrhnout nový výrobní systém nebo naprojektovat dispoziční uspořádání výrobního zařízení)
- Analyzovat logistické procesy s cílem snížení zásob materiálu a nedokončené výroby, nebo minimalizovat riziko nepokrytí potřeb dodavatelem
- Vytvořit systém řízení logistických procesů nebo zlepšit skladování a s ním související úkony
- Plánovat přesněji využití výrobních kapacit, například i v kombinaci s odstávkami výrobního zařízení při údržbě

Simulace diskrétních události má řadu výhod, avšak její využití skýtá také jisté nevýhody. Některé z nich jsem popsal v následující tabulce č. 1. (9, s. 7 – 9; 10, s. 5 – 6)

**Tabulka č. 1: Výhody a nevýhody simulace diskrétních událostí** (Zdroj: Vlastní zpracování dle: 9, s. 7)

| Výhody | Nevýhody |
|---|---|
| • Možnost flexibilně měnit parametry jednotlivých elementů procesu<br>• Odzkoušení různých alternativ<br>• Pochopení souvislostí v procesu<br>• Odhalení úzkých míst procesu<br>• Možnost vyčíslení nákladů<br>• Vizualizace procesu<br>• Skvělý nástroj pro pomoc při rozhodování | • Nutná znalost tvorby simulačních modelů<br>• Různorodost návrhu (závisí na tom, kdo jej navrhuje, neexistuje jediné správné řešení)<br>• Zdlouhavá a nákladná tvorba modelu<br>• Mezi simulačním modelem a realitou mohou existovat rozdíly<br>• Riziko zanesení chyb do simulace |

**Fáze simulačního projektu**

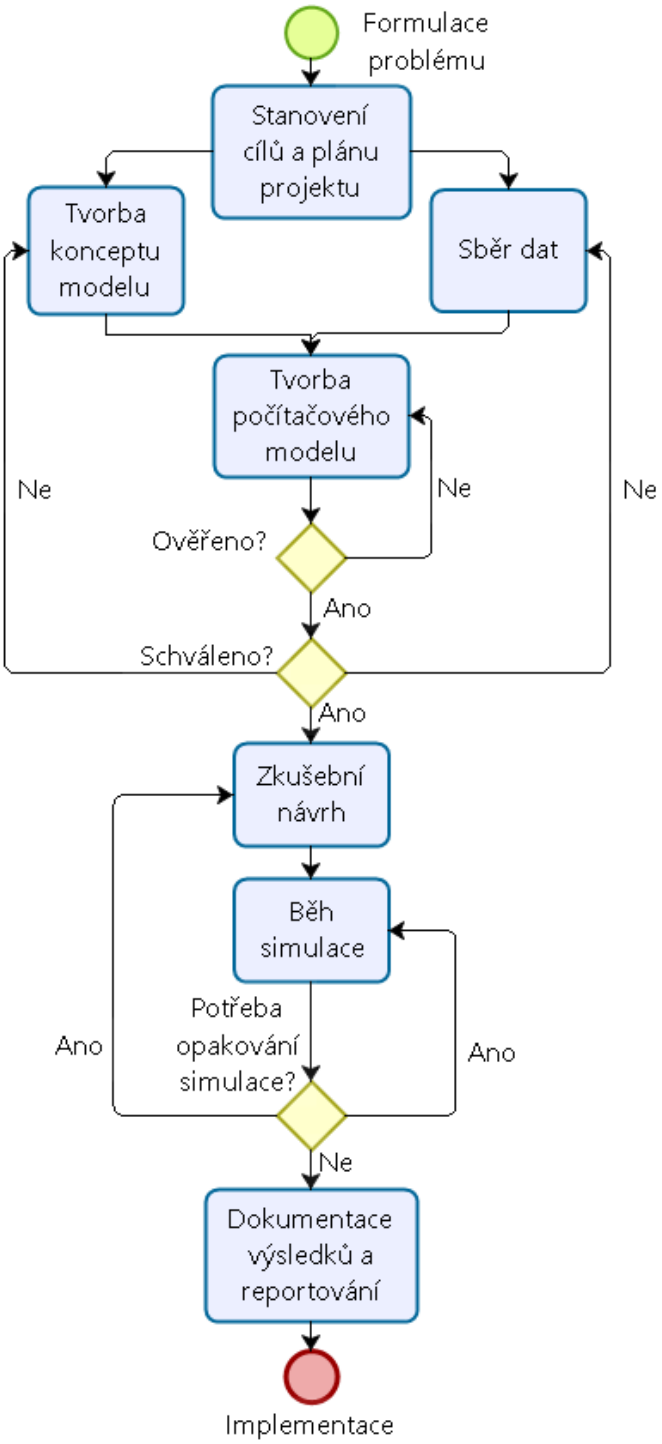
Nyní přistoupím k popisu jednotlivých fází tvorby simulačního projektu. Nejlepší cestou k přehlednému popisu průběhu simulačního projektu bude grafické znázornění průběhu projektu, které se nachází na obrázku č. 4 na další straně. Jednotlivé činnosti blíže popíšu.

Formulace problému

Každý projekt by měl začínat jasným definováním řešeného problému. Ať už popis problému provádí osoba, která je přímo součástí procesu nebo naopak pracovník, který má na starosti tvorbu předpisů pro daný proces, je nutné, aby analytik zajistil jasný popis problému pro všechny zúčastněné. Je možné, že v průběhu projektu bude potřeba problém přeformulovat. (10, s. 14)

Stanovení cílů a plánu projektu

Cíle nám jasně definují otázky, které mají být simulací zodpovězeny. V této fázi bychom si také měli vyjasnit, zda je vůbec simulace vhodným prostředkem k řešení daného problému. Pokud se rozhodneme, že ano, v plánu projektu bychom měli zmínit, několik různých systému, které můžeme pro tvorbu simulace použít a porovnat jejich efektivitu, respektive výhody a nevýhody. Je nutno také určit počet zapojených osob, míru investice, kterou jsme schopni do projektu vložit a stanovit za jakou dobu mají být dílčí části projektu dokončeny a jaké výsledky od nich očekáváme. (10, s. 14)




**Obrázek č. 4: Metodika simulačního projektu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 10, s. 15)

Tvorba konceptu modelu

Neexistuje žádný univerzální návod, který povede k tvorbě správně fungujícího modelu. Je však známých několik základních principů, podle kterých bychom při tvorbě modelu měli postupovat. Při tvorbě modelu je vždy nutné vystihnout základní vlastnosti systému a ty poté rozebírat více dopodrobna. Začneme jednoduchým modelem, který postupně rozvíjíme, dokud nevytvoříme takový model, který bude dostatečně podrobný na to, aby nám přinesl požadované výsledky. Není nutno, aby byl model naopak příliš podrobný, jelikož bychom si tím pouze přidělali práci a zvýšili náklady vynaložené na daný projekt. Model nemusí být přesnou kopií zkoumaného procesu, ale musí vystihovat podstatu systému. (10, s. 14)

Sběr dat

Během tvorby simulačního projektu musí docházet k neustálé souhře mezi tvorbou modelu a sběrem potřebných vstupních dat. S rozvíjením modelu se objem těchto dat může zvyšovat a jelikož sběr dat zabere mnoho času, je žádoucí s ním začít co nejdříve. Typ dat, která máme pro daný model zaznamenávat je dán právě tím, jaký model a za jakým účelem tvoříme. Pokud budeme například simulovat již zmíněné obsloužení klientů v bance a cílem bude snížení doby obsluhy nebo zvýšení kapacity systému, zaznamenávat budeme intervaly příchodů klientů během dne a doby obsloužení každého z nich. (10, s. 16)

Tvorba počítačového modelu

Většina systémů či procesů, které chceme v rámci simulačních projektů zkoumat pracují s velkým množstvím informací. Model, který budeme tvořit tedy bude obsahovat mnoho dat ze kterých bude možno zpracovat nejrůznější výstupy, respektive výpočty. Proto dnes využíváme počítačové programy, které nám se zpracováním dat pomáhají. Existuje mnoho softwarů, které umožňují simulaci výrobních nebo logistických procesů. Patří sem například: AutoMod™, ProModel®, Flexsim, SIMUL8® nebo třeba WTNESS™, který budu v rámci řešení své bakalářské práce využívat. Pokud je některý z těchto systému vhodný pro simulaci námi řešeného problému, tvorba modelu bude méně časově náročná. Tyto softwary mají celou řadu funkcí, které zvyšují flexibilitu jejich použití a je tedy možné je využít pro simulaci široké škály systémů či procesů. (10, s. 16)

Ověření

Tento krok souvisí s ověřením skutečnosti, zda námi používaný program, ve kterém chceme modelovat, je schopen zobrazit námi zkoumaný systém nebo proces správně. Je potřeba aby struktura modelu byla správně zobrazena v elektronické podobě. (10, s. 16)

Schválení

Po ověření, že je aktuální stav správně převeden do elektronické podoby, je potřeba se přesvědčit, že model odráží skutečnost. Je tím myšleno, že je potřeba porovnat model se skutečností a zjistit, zda návaznosti činností v modelu odpovídají tomu, jak je např. proces prováděn ve skutečnosti. Pokud model odpovídá skutečnosti, je možno pokračovat dále. (10, s. 16)

Zkušební návrh

V této fázi provedeme návrh několika podob stávajícího systému či procesu, který potřebujeme prověřit, případně se budeme zabývat návrhem nově zaváděného systému nebo procesu. Stanovíme, kterou z těchto alternativ převedeme do podoby simulačního modelu a učiníme rozhodnutí o délce simulačních běhů každé ze simulací a určíme počet opakování prováděných simulací. (10, s. 16 - 17)

Běh simulace

Provedeme spuštění simulace a po skončení simulačních běhů všech návrhů zanalyzujeme výsledky každé z variant. Simulační běh nám slouží především ke zjištění míry výkonu jednotlivých navrhovaných alternativ a jejich vzájemnému porovnání. (10, s. 17)

Potřeba opakování simulace

Na základě analýzy simulačních běhů, kdy jsme zkoumali výkonnost různých návrhů, se rozhodneme, zda jsou pro nás získané výsledky dostačující nebo chceme simulační běh systému či procesu provést znova. Ať už za účelem rozšíření datové základny pro rozhodování, který z návrhů vybrat, nebo pro ověření již vybraného návrhu. (10, s. 17)

Dokumentace výsledků a reportování

Dokumentace celého modelu a dosažných výsledků je nezbytná z několika důvodů. Pokud budeme s navrženým modelem pracovat v budoucnu znova, bude nezbytné pochopit, jak pracoval. Řádným zadokumentováním provedené analýzy zvýšíme důvěryhodnost modelu pro všechny uživatele, kteří s ním přijdou do styku. Na základě

zpracovaných a zadokumentovaných analýz budeme schopni rychleji provádět naše budoucí rozhodnutí, související s řešeným problémem a ulehčíme si také práci s budoucími úpravami modelu. Záznamy o pokrocích, kterých jsme dosáhli poskytují důležité informace o historii simulačního projektu. Chronologický zápis vykonané práce a rozhodnutí, učiněných během tvorby modelu, pomáhají udržet povědomí i osobám, které do projektu nejsou zapojeny na denní bázi. Díky tomu je možné se vyvarovat špatným rozhodnutím zúčastněných osob a dosáhnout stanoveného cíle. Všechny analýzy, výsledky simulačních běhů, animace simulací, grafy a další výstupy modelu by poté měli být zkompletovány. Celkový report bychom poté měli předat osobám, které jsou zodpovědné za učinění rozhodnutí souvisejících se změnami současného systému či procesu. Díky správně zpracovaným datům mohou učinit rozhodnutí, které povede k vyřešení formulovaného problému. (10, s. 17)

Implementace

Úspěch této fáze je velmi závislý na tom, jak kvalitní práci jsme odvedli ve všech předchozích krocích a také na tom, do jaké míry byl do tvorby modelu zapojen jeho budoucí koncový uživatel, který s ním bude v praxi pracovat. Pokud na tvorbě modelu spolupracoval, je velmi pravděpodobné, že uvedení návrhu do praxe proběhne úspěšně. Naopak v případě, že model a jeho základní předpoklady nebyly správně komunikovány, implementace se pravděpodobně nezdaří, navzdory jeho správnému fungování. Jak už jsem zmínil, provedení všech zmíněných fází v co největší možné kvalitě je nezbytné. Nejvíce kritickým místem je však fáze schvalování. Pokud v tomto kroku uděláme chybu, tedy schválíme model, ve kterém se vyskytují chyby, dostaneme později nerelevantní výsledky. Pokud na základě nich provedeme implementaci modelu do praxe, může to být nákladné a nebezpečné. (10, s. 17 - 18)

# 3 ANALÝZA PROBLÉMU A SOUČASNÁ SITUACE

V analytické části své bakalářské práce nejdříve představím podnik, se kterým jsem v rámci tvorby této práce spolupracoval, provedu globální analýzu podniku a poté analýzu konkrétního výrobního procesu. Proces, kterému se budu věnovat v detailní analýze, se týká velkosériové výroby produktu z oblasti automotive a proto i globální analýza bude místy zaměřena již na procesy související s tímto odvětvím. V globální analýze popíšu organizační strukturu podniku, průběh zakázky podnikem a zaměřím se na popis procesů, se kterými je možné se ve firmě setkat. Detailní analýza je zaměřena na popis konkrétního výrobního procesu a analýzu pracoviště pro výrobu komponentů pro automobilový průmysl. Výsledkem analýzy současného stavu je nalezení úzkých míst procesu.

## 3.1 O firmě

Společnost PEPOVO s.r.o., s níž v rámci tvorby této bakalářské práce spolupracuji, byla založena v roce 2008, kdy byl v Břeclavi postaven výrobní závod této společnosti patřící do nadnárodní skupiny. Břeclavský závod zaměstnává zhruba 160 lidí. Předmětem podnikání společnosti je především výroba plastových a pryžových výrobků. (11)

## 3.2 Výrobní program

Společnost se zabývá výrobou plastových výrobků metodou vyfukování a vstřikování plastů. Největší podíl zakázek tvoří ty pro automobilový průmysl. Tento sektor však není jediným, ve kterém se firma pohybuje. (11)

### 3.2.1 Automotive

Jak už jsem zmínil, oblast automotive je pro společnost PEPOVO s.r.o. klíčová a většina výrobků společnosti je určena právě pro použití v tomto odvětví. Spolupráce v tomto sektoru probíhá buď přímo s konkrétní automobilkou, nebo jsou díly dodávány přes další firmu, která je přímým dodavatelem automobilek a jednotlivé díly nakupuje od většího počtu společností. (11)

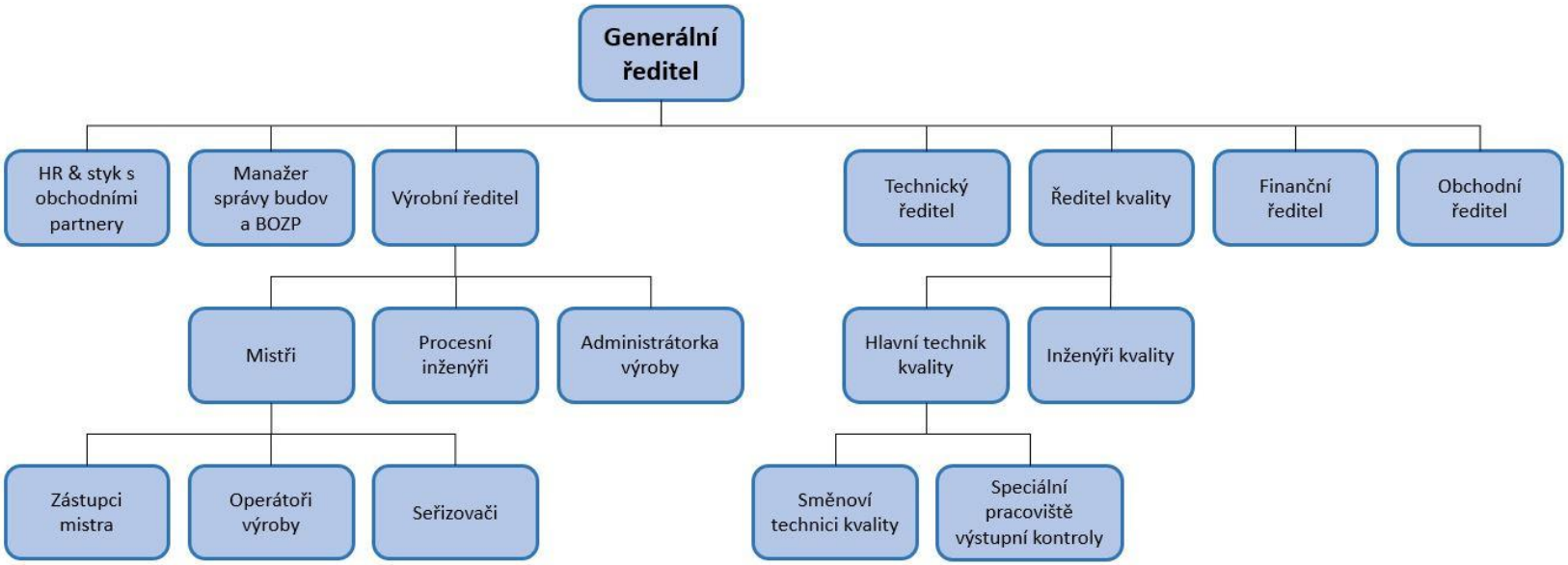
### 3.2.2 Ostatní výrobky

Kromě produktů pro sektor automotive vyrábí společnost PEPOVO s.r.o. i řadu dalších výrobků. Technologie vyfukování plastů nachází široké využití především při zpracování výrobků pro průmyslové odvětví. Jako příklad dalších výrobků, které se metodou

vyfukování mohou vyrábět lze obecně zařadit nejrůznější nádoby (nádoby na tekutý prací prostředek, na motorový olej apod.). (11)

## 3.3 Organizační struktura

V další kapitole se zaměřím na organizační strukturu společnosti PEPOVO. Na obrázku č. 5 je vyobrazena organizační struktura společnosti PEPOVO s.r.o. Jelikož problém, analyzovaný v této bakalářské práci souvisí především s oddělením výroby, je toto oddělení více rozpracováno i v organizační struktuře na obrázku č. 5 níže. Poté přistoupím k popisu pravomocí a odpovědnosti jednotlivých osob.




**Obrázek č. 5: Organizační struktura společnosti PEPOVO s.r.o.** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11)

**Generální ředitel**

Je odpovědný za chod celého závodu. Jeho úkolem je správné směřování organizace ve vztahu k vizi společnosti. Jeho podřízenými jsou specialistka HR oddělení, manažer správy budov a BOZP, výrobní ředitel, technický ředitel, obchodní ředitel, finanční ředitel a ředitel kvality.

**HR specialistka**

Má na starosti řízení lidských zdrojů ve společnosti. Oddělení, jehož je vedoucí, se zabývá především náborem a zaškolením nových zaměstnanců, evidencí docházky do zaměstnání a plánováním směn.

**Manažer správy budov a BOZP**

Je zodpovědný za zajištění BOZP zaměstnanců společnosti a má na starosti správu budov a výrobních zařízení společnosti. Provádí zaškolování nových zaměstnanců v oblasti bezpečnosti práce a správu prostředků ochrany zdraví pracovníků. Je zodpovědný také za hygienu pracovního prostředí, kontrolu jejího udržování apod.

**Výrobní ředitel**

Zodpovídá za bezproblémový chod výroby v podniku. Dohlíží na plnění výrobního plánu a na odstraňování případných nedostatků, které mohou během výroby nastat. Mezi jeho přímé podřízené patří například procesní inženýři, směnový mistři nebo seřizovači, se kterými se pravidelně každý pracovní den schází na výrobních poradách.

**Technický ředitel**

Mezi jeho odpovědnosti spadá především dohled nad výrobním zařízením společnosti. Zodpovídá za bezproblémový chod strojů, přípravků a nejrůznějších stanic a periferií používaných ve výrobě. Jeho podřízenými jsou například technici přípravy výroby, nástrojáři či seřizovači robotických stanic, kteří provádí údržbu a opravy zařízení.

**Ředitel kvality**

Jak již název jeho pozice napovídá, zodpovídá za řízení systému kvality ve společnosti PEPOVO s.r.o. Oddělení kvality patří v tomto závodě k jednomu z největších a díky propracovanému systému kontrol zajišťuje společnost vysokou kvalitu výrobků pro své zákazníky. Oddělení kvality provádí vstupní kontroly materiálu, operativní kontroly ve výrobě i následné kontroly hotových výrobků.

## 3.4 Globální analýza podniku

### 3.4.1 Průběh zakázky podnikem

Před začátkem spolupráce s konkrétním zákazníkem probíhá proces, při kterém si zákazník svého dodavatele vybírá. V praxi to vypadá tak, že zástupci zákazníka kontaktují jednotlivé firmy, které se v odvětví pohybují a zjišťují za jakých podmínek by mohla spolupráce probíhat.

**Automotive**

Jak jsem již zmínil, společnost vyrábí produkty v odvětví automotive, kde je výroba prováděna na základě odvolávek zákazníků. V rámci dojednávání podmínek spolupráce se zákazníky z tohoto sektoru bývá uzavřena rámcová smlouva o spolupráci. V té je stanoven roční objem zakázek, který bude zákazník požadovat a také MOQ neboli *minimum order quanitity*, tedy minimální množství zboží, které si musí zákazník objednat při jedné odvolávce.

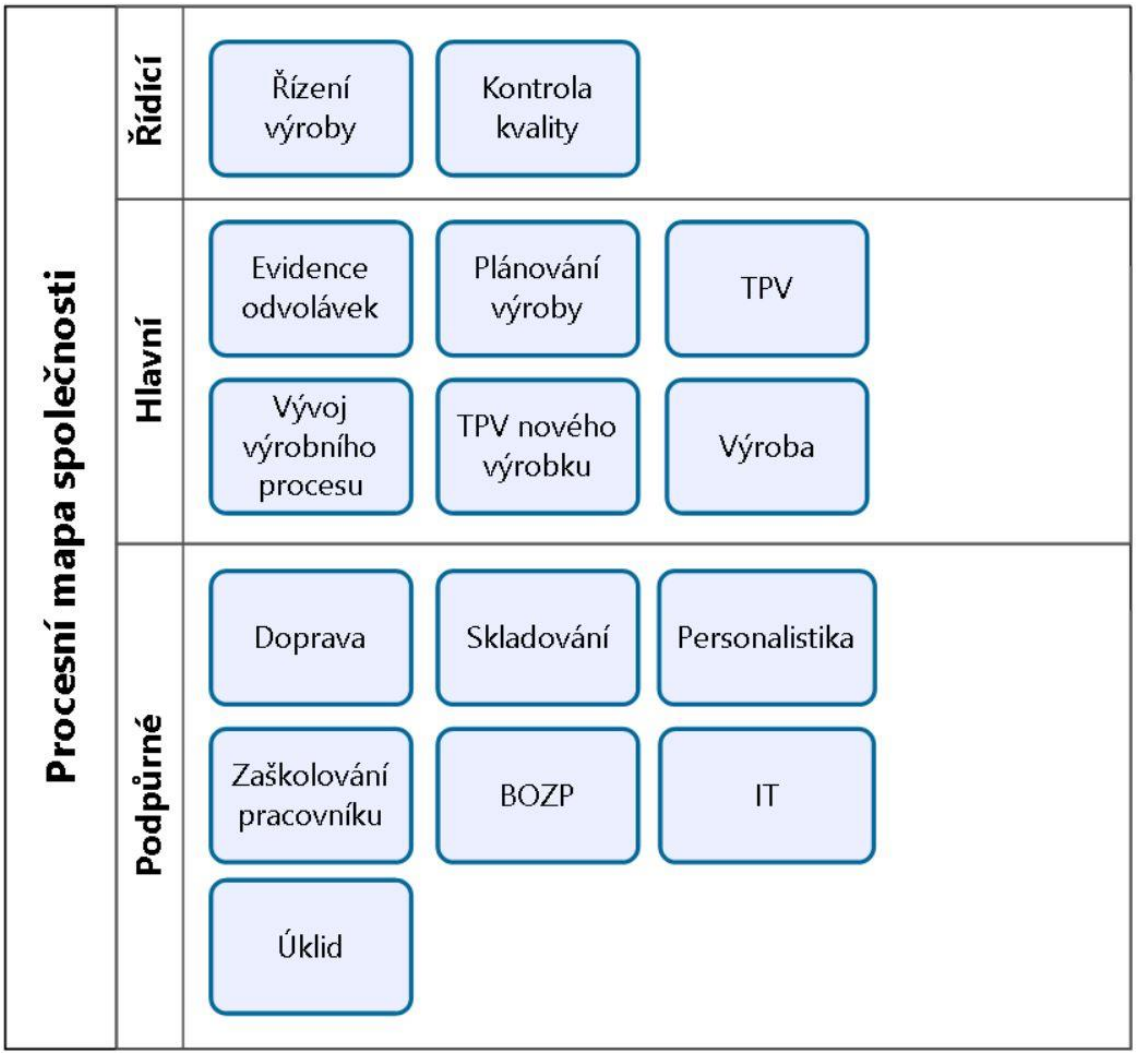
Následný průběh zakázky firmou je následující: zákazník zašle odvolávku společnosti PEPOVO buď bez připomínek, tedy v konkrétní odvolávce objednává standartní objem stanovený v MOQ. Může však zaslat i odvolávku, ve které požaduje nižší nebo naopak vyšší počet výrobků. Poté se musí se zákazníkem řešit, zda je možné tento požadavek splnit či nikoliv a za jakých podmínek. Například, když zákazník požaduje dodávku většího počtu výrobků, společnost PEPOVO po něm požaduje více času na splnění této výrobní zakázky. Tyto odvolávky zasílají zákazníci týdně a výroba konkrétní odvolávky probíhá 1 až 2 týdny po jejím přijetí.

**Ostatní zakázky**

Ostatní zakázky jsou realizovány na základě objednávek, které jsou zasílány ve větším časovém předstihu, než je tomu u oblasti automotive. Objednávky bývají zasílány zhruba 2 měsíce předem v případě evropských společností a 3 měsíce v případě zákazníků z USA, kde je nutno počítat s delší dobou přepravy zakázek, jelikož ta je realizována pomocí lodní dopravy, aby se přeprava uskutečnila za co nejmenších logistických nákladů.

## 3.5 Procesní mapa

Jak už jsem výše zmínil, při řešení práce se budu zaměřovat na proces, při kterém probíhá výroba autodílů. Procesní mapu jsem tedy zaměřil pouze na procesy společnosti, které se týkají odvětví automotive. Dále se budu věnovat konkrétnímu popisu všech procesů, jejichž přehled se nachází na následujícím obrázku č. 6.




**Obrázek č. 6: Procesní mapa společnosti PEPOVO s.r.o.** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11)

### 3.5.1 Řídící procesy

**Řízení výroby**

Oddělení výroby je řízeno výrobním ředitelem. Mezi jeho podřízené patří směnoví mistři, kteří mají na starosti organizaci práce na jednotlivých směnách. Jejich povinností je seznámit se s plánem výroby a úrovní jeho plnění. Na základě výrobního plánu přidělují práci na jednotlivých pracovištích konkrétním operátorům výroby. Při rozdělování

pracovních povinností musí zohlednit míru zkušeností operátora s daným výrobkem a případně provést jeho proškolení. Rozdělení práce je operátorům výroby sdělováno vždy před začátkem směny pomocí rozpisu rozdělení pracovišť, který směnový mistr umístí na informační tabuli ve výrobní hale. Operátoři výroby jsou povinni si zde zjistit, na jaké pracoviště se mají před začátkem směny dostavit. Operátoři výroby mají na pracovišti k dispozici složku s pracovním postupem, dle kterého musí práci provádět. Při příchodu na určené pracoviště, je operátor výroby povinen se na výrobním terminálu přihlásit do MES systému, který je v této společnosti používán pro sledování aktuálního stavu výroby dané zakázky a k odvádění práce. Odvádění práce probíhá automaticky při odhlášení a přihlášení operátorů, ke kterému dochází v pravidelných intervalech, při střídání směn a dále také při přerušení práce na dobu přestávky.

**Kontrola kvality**

Vstupní kontrola kvality

Příjem materiálu a komponent provádí skladník, který dle kontrolní návodky zkontroluje balení. Je nutno zkontrolovat, zda není někde poškozeno a nemohlo tak cestou dojít ke znehodnocení nakupovaných komponent. O přijetí zásilky informuje e-mailem oddělení kvality. V rámci vstupní kontroly poté probíhají kontroly komponent a balení oddělením kvality. Při dodávce materiálu, který je dopraven cisternou a má být skladován v sile, je oddělení kvality informováno telefonicky, aby se některý z pracovníků co nejdříve dostavil k provedení vstupní kontroly materiálu, před jeho přesunem z cisterny do sila. Průběh vstupních kontrol popíšu v následujících odstavcích.

Kontrola komponent probíhá tak, že zaměstnanec oddělení kvality provede dle kontrolní návodky kontrolu obsahu balení. V případě nakupovaných komponent nejprve ověří, zda se v balení nachází odpovídající množství. Dále dle kontrolní návodky provede jejich vstupní kontrolu. Ta probíhá tak, že je odebrán určitý počet kusů komponent a ty jsou kontrolovány. Například při kontrole komponent pro automotive je namátkově vybráno 10 ks komponent (např. kovové klipy, pěnová výplň atd.) a ty jsou detailně zkontrolovány. Ke kontrole rozměrů se používá posuvné měřítko a kalibr. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány do informačního systému (dále jen IS) CAQ a v případě, že komponenty splňují potřebná kritéria, je skladníkům odeslán e-mail, který je informuje o tom, že je možno tyto díly zaskladnit. V případě, že jsou při kontrole zjištěny nedostatky, je o tomto informováno oddělení nákupu. Zpráva o zjištěných nedostatcích je

zaznamenávána v IS CAQ a oddělení nákupu je také předávána e-mailem, který obsahuje fotodokumentaci nalezených neshodných komponent. Oddělení nákupu poté tuto skutečnost řeší dále s dodavateli a dohodne se s nimi na dalším postupu. Možným řešením je například výměna dílů „kus za kus“ nebo dobropis.

Pro kontrolu jakosti granulátu, používaného k výrobě vyfukovaných plastových dílů, je používán test, při kterém dochází ke zjišťování MFI (Melt flow index) neboli index toku taveniny. Ten se stanoví vytlačením roztaveného materiálu z válce plastometru tryskou definované délky a průměru za předepsané teploty (T) a zatížení ($m_{nom}$). Ve společnosti PEPOVO zatěžují roztavený materiál závažími o hmotnostech 2,16 nebo 5 kg. Jakost materiálu je zjištěna porovnáním naměřeného MFR (Melt flow rate), což je hmotnostní index toku taveniny (g/10 min) s hodnotou, kterou má dodávaný materiál splňovat. Na základě srovnání těchto hodnot je materiál označen jako způsobilý pro výrobu a může být použit ve výrobním procesu. V opačném případě je reklamován. (11, 12)

Mezioperační kontrola

Mezioperační kontrolu výrobků provádí během jejich výroby směnový technik kvality. Na základě kontrolního plánu v systému CAQ, kontroluje pravidelně hodnoty daných parametrů výrobku. Těmi jsou například hmotnost, tloušťka stěn nebo rozměry výrobku. Při kontrole může být u některých výrobků požadováno také provedení FIT testu, což je test, při kterém je daný výrobek upnut do speciálního přípravku a je tak zjištěno například to, zda otvory na výrobku jsou přesně v místě, kde mají být či zda jsou dostatečně velké. Kontrola probíhá každé 2 hodiny u výrobků v oblasti automotive a každé 4 hodiny u ostatních výrobků. Všechny naměřené hodnoty jsou zaznamenávány do systému CAQ. Při zjištění nedovolených odchylek (např. nízká nebo vysoká hmotnost), informuje směnový technik kvality seřizovače, který musí provést opravu či změnu parametrů seřízení tak, aby bylo vše v pořádku a nedocházelo dále k produkci neshodných výrobků. Toto nastavení parametrů seřízení je nutno provést také v případě, že během výroby nastal z nějakého důvodu prostoj, který byl delší než 4 hodiny. Při této situaci je nutno znovu provést uvolnění prvního kusu. (11)

Výstupní kontrola

Ve společnosti je zaveden propracovaný systém výstupní kontroly. Kontrola, předcházející odeslání zboží zákazníkovi, je ve společnosti prováděna dvěma způsoby. Dva různé způsoby výstupní kontroly jsou zde zavedeny, protože někteří z pracovníků,

kteří provádí dokončovací práce na výrobcích, ještě nemají dostatečné zkušenosti nebo nejsou kmenovými zaměstnanci společnosti. Pro větší přehlednost budu dále tuto skupinu pracovníků označovat termínem: „nezkušení pracovníci / nezkušený pracovník“.

Operátoři výroby označují hotové balení výrobků expedičními štítky a na tyto štítky přidají žlutou nebo zelenou nálepku. Zelená nálepka znamená, že kontrolu a balení prováděl pracovník, který má s daným výrobkem dostatečné zkušenosti. Žlutá nálepka naopak to, že dokončovací práce a kontrolu výrobků před balením, prováděl nezkušený pracovník. Operátoři se na daný výrobek postupně zaškolí, což pro ně bude následně znamenat označování hotové výroby zeleným štítkem. Povolení k označování hotové výroby zelenou nálepkou bývá uděleno, pokud pracovník na třech různých směnách neodvede u stejného výrobku žádný neshodný výrobek. Neshodné výrobky budu dále označovat termínem: „NOK kusy“. Kontrolu výrobků, na kterých prováděli dokončovací práce nezkušení pracovníci, provádí speciální pracoviště oddělení kvality.

Pracoviště je situováno ve stejné hale jako sklad hotové výroby, díky čemuž je minimalizován převoz výrobků mezi skladem hotové výroby a tímto pracovištěm. Kontrolu výrobků na tomto pracovišti zajišťuje 8 speciálně proškolených pracovníků. Při kontrole se řídí kontrolními návodkami, ve kterých se dozví, jaké parametry mají u výrobků kontrolovat. V případě nálezu NOK kusů jsou tyto vyřazeny. Nález NOK kusu je zaznamenám pomocí čtečky čárových kódu do ERP systému. Informace o počtech NOK kusů každého kontrolovaného výrobku se poté archivují právě v tomto ERP sytému. Každý týden je oddělením kvality zpracován dokument: „Upozornění kvality“, kde jsou popsány chyby a přiloženy fotografie NOK kusů. U každého dokumentu se nachází informace o tom, který pracovník chybný výrobek odvedl a kdo byl vedoucím směny, na které ke vzniku NOK kusu došlo. Tento dokument je poté odeslán e-mailem oddělení výroby, které nezkušené pracovníky obeznámí o chybách, kterých se dopustili.

V případě, že je balení hotových výrobků označeno expedičním štítkem se zelenou nálepkou, manipulant výrobky zaskladní do skladu hotové výroby. Tyto výrobky jsou odsud poté vyexpedovány k zákazníkovi.

Pokud je expediční štítek na balení s hotovými výrobky označen žlutou nálepkou, znamená to, že manipulant tyto výrobky zaskladní také do skladu hotové výroby, avšak tyto budou ještě podstupovat výstupní kontrolu na výše zmíněném pracovišti. Zkontrolované výrobky, které odpovídají požadavkům kvality jsou zabaleny. Po

ukončení kontroly umístí kontrolor do prostoru expedičního štítku na balení se zkontrolovanými výrobky tzv. „Štítek úspěšné kontroly“, který má zelenou barvu a nachází se na něm: datum kontroly, jméno kontrolora a jeho podpis. Takto označené, naplněné obalové jednotky, například KTP boxy, jsou odváženy zpět do skladu hotové výroby, případně rovnou odváženy na expedici, pokud se blíží termín jejich nakládky zákazníkovi.

### 3.5.2 Hlavní procesy

**Evidence odvolávek, objednávek a plánování výroby**

Odvolávka (v případě automotive) nebo objednávka (v případě ostatních odvětví) od zákazníka přijde e-mailem, faxem nebo na portál v ERP softwaru. Kontrolu příchozích odvolávek či objednávek má na starosti plánovač.

Ten poté provádí sestavení výrobního plánu ve spolupráci s technickou skupinou. Aby mohlo dojít k zaplánování výroby konkrétní odvolávky na určité dny, je nutno si ověřit, zda bude k dispozici potřebné vybavení pracoviště. Plánovač si v informačním systému CMMS ověří, zda se na daném zařízení nebude v tu dobu provádět údržba, což by samozřejmě znamenalo, že nebude možné, jej využít při výrobě. K těmto problémům může dojít například při produkci výrobku, kdy jsou používány robotické stanice. Pokud je nutno některou konkrétní z nich během výroby použít, musí být ověřeno, zda se nebude, v době, kdy bychom ji potřebovali, provádět její údržba.

Výrobní plán je v současné době tvořen v softwaru Microsoft Excel. Kromě toho, že je tištěn ve formátu A3, je zároveň dostupný také v MES systému, který společnost používá k řízení výroby.

Technologická příprava výroby a vývoj výrobního procesu

Technickou dokumentaci pro jednotlivé výrobky dodává zákazník v začátku spolupráce se společností PEPOVO s.r.o. Obsahem dokumentace jsou výkresy výrobků, jejich 3D modely a také požadavky související s kvalitou výrobku. Na základě technické dokumentace se vybere stroj, na kterém se bude výrobek vyrábět. Výběr je ovlivněn hlavně velikostí výrobku. Dále si nechá společnost PEPOVO vyrobit formy pro výrobu výrobku a přípravky, které budou používány při jeho následném opracování ve výrobě. Výrobu forem a přípravků provádí ve většině případů externí firma. S požadovanou formou a přípravky může být zahájena výroba prototypů, kdy je vyrobeno například

50 kusů a ty jsou odeslány zákazníkovi, který je vrátí s připomínkami a zhodnocením jejich kvality. Výroba a odeslání prototypů je proces, který se opakuje například 15 – 20x po sobě až do doby, kdy je zákazník s výrobky spokojen. Tento proces může trvat třeba rok, případně i déle až do doby, než zákazník schválí výrobky, které mu byly odeslány. Během celého tohoto testování dochází i k úpravě forem a přípravků. Jejich změny musí být samozřejmě zaneseny do technické dokumentace která s nimi souvisí.

S technickou dokumentací k výrobku se pracuje i nadále, a to před zahájením předsériové výroby. V této fázi jsou tvořeny pracovní postupy, které budou sloužit operátorům ve výrobě, návody na seřízení strojů, dále jen: záznamy parametrů seřízení pro seřizovače a jsou tvořeny také dokumenty se specifikací produktu či kontrolní plány. Spolu s výkresovou dokumentací se evidují také výsledky testů prováděných na konkrétním výrobku.

Dokumentace každého výrobku se poté používá v sériové výrobě. Jak už jsem výše zmínil, během vývoje výrobního procesu daného výrobku jsou vytvořeny pracovní postupy, záznamy parametrů seřízení, specifikace produktu nebo například kontrolní plány. Tyto dokumenty TPV jsou poté používány vždy, když dochází k sériové výrobě konkrétního produktu. Díky dokumentaci jsme například schopni určit spotřebu plastového granulátu, barviva nebo obalových materiálů na danou sérii. Díky informacím o spotřebě na 1 ks výrobku, dokážeme pomocí MES systému jednoduše získat přehled o potřebném množství na požadovaný počet kusů.

**Výroba**

Výroba je bezpochyby nejdůležitějším procesem ve společnosti PEPOVO s.r.o. Podnik se zabývá výrobou vyfukovaných a vstřikovaných výrobků z plastu a výroba by se tedy dala dále rozčlenit na výrobu na vstřikovně a vyfukovně. Pro každé z těchto středisek je sestavován týdenní výrobní plán, podle kterého je poté výroba uskutečňována

Vstřikovna je menším z obou středisek a najdeme zde dva stroje na kterých dochází k výrobě komponent pro vyfukované díly. Jsou zde vyráběny například nejrůznější plastové rámečky a uzávěry, které bývají dále používány při finální montáží výrobků na vyfukovně. Výrobky jsou ze stroje odebírány pomocí robotické ruky, která je pokládá na dopravníkový pás a odtud je obsluha stroje odebírá a zabalí je dle balícího předpisu.

Na vyfukovně se nachází jedenáct strojů, na kterých probíhá sériová výroba plastových výrobků metodou vyfukování. Po jejich odebrání ze stroje na nich provádí operátoři výroby dokončovací práce. Ty zpravidla spočívají v odstranění přetoků okolo výrobku, jeho založení do přípravku v robotické stanici, která provede ořezání nepotřebných částí a následná vizuální kontrola. Jak jsem již zmínil, u některých výrobků dochází k montáži dalších komponent, případně označení výrobku dle požadavků zákazníka. Pro každý výrobek jsou zpracovány podrobné pracovní instrukce, které si musí operátor před započetím práce na konkrétním výrobku prostudovat. Kompletní výrobky jsou zabaleny dle balícího předpisu a poté zaskladněny do skladu hotové výroby. Odtud jsou následně expedovány dopravci, který zajišťuje jejich přepravu k zákazníkovi. Vyskladnění podrobněji popíšu v následujícím odstavci.

### 3.5.3 Podpůrné procesy

**Doprava**

Plánování dopravy zakázky k zákazníkovi začíná příchodem požadavku na dopravu nakládky spolu s odvolávkou nebo objednávkou. Specialista logistiky zkontroluje v ERP systému, zda je na skladě potřebné množství zboží, popřípadě v plánu výroby zjistí, kdy budou výrobky zhotoveny. Následuje poptání přepravy u dopravce nebo oznámení dopravci, pokud si zákazník objednává dopravu sám. Tato komunikace probíhá e-mailem. Na základě další komunikace specialisty logistiky s dopravcem potvrdí závaznost objednávky přepravy a dohodne její termín. V daném termínu poté pošle příkaz na vyskladnění skladníkům. Komunikace se skladníky probíhá pomocí ERP systému. Zboží je dle příkazu vyskladněno z příslušné lokace metodou „First In, First Out“, dále jen „FIFO“ na expedici. V případě požadavku zákazníka na standart VDA, označí skladník balení štítky, které budou plnění tohoto standartu dokladovat. Zboží je poté na expedici naloženo dopravci spolu s předáním „standartního nákladního listu“, dále jen: „Nákladní list CMR“.

**Skladování**

Proces skladování ve společnosti PEPOVO s.ro. je řízen za pomoci ERP systému. Skladníci a manipulanti používají při své práci čtečky čárových kódů, díky kterým je možné přehledně sledovat pohyb obalů, komponent a skladových zásob ve společnosti. Například při příjmu materiálu nebo komponent od dodavatele provede skladník kontrolu

dodacího listu a množství materiálu. Po vstupní kontrole kvality viz výše, následuje zaskladnění materiálu či komponent na určené lokace. Naskenováním čárových kódů tak vzroste stav skladových zásob vstupního materiálu v ERP systému. Vyskladnění materiálu a komponent pro použití ve výrobě provádí skladníci na základě požadavků z výroby a odečítání materiálu je opět pomocí skenování čárových kódů čtečkami. Skladování hotové výroby probíhá obdobně. Manipulant čtečkou čárových kódů naskenuje expediční štítek a zaskladní hotovou výrobu. Při výrobě označené zelenými nálepkami jsou výrobky odvezeny přímo do expedičního skladu. Výrobky označené žlutými nálepkami odveze do skladu hotové výroby, odkud budou ještě později převáženy na pracoviště oddělení kvality ke kontrole.

**Personalistika**

HR oddělení společnosti řídí a organizuje využití lidských zdrojů ve společnosti. Mezi jeho aktivity patří nábor nových pracovníků, jejich počáteční zaškolení při nástupu do zaměstnání nebo například kontrola docházky pracovníků do zaměstnání. Na základě výrobního plánu sleduje HR oddělení potřebu lidských zdrojů v oddělení výroby pro další týden. Díky najímání pracovníků z pracovních agentur a zaměstnávání pracovníků na základě DPP a DPČ může společnost korigovat skutečný počet pracovníků přítomných ve výrobě daný den. V praxi to probíhá tak, že je v průběhu pracovního týdne na základě telefonické komunikace dohodnuto, kdy má pracovník během týdne dalšího přijít. Společnost díky tomu nemusí zaměstnávat více kmenových zaměstnanců, avšak nese to s sebou i určitá rizika. Při nedostatečném počtu operátorů ve výrobě může dojít k přerušení výroby zakázky a hrozí tak riziko jejího zpoždění.

**Zaškolování pracovníků**

Operátoři ve výrobě jsou zaškolování v den svého nástupu do zaměstnání. Na školení jsou jim sdělena pravidla, podle kterých se ve firmě musí řídit, jsou proškoleni ohledně používání docházkového systému a MES systému se kterým se poté setkají ve výrobě. Jelikož společnost vyrábí širokou škálu produktů, zaškolení na konkrétní produkt probíhá přímo ve výrobě, při prvním setkání s tímto výrobkem. Toto proškolení provádí školitel, který pracovníkům ukáže, jak dokončovací práce na výrobku provádět a jaké mohou být nejčastější problémy ohledně kvality výrobků. O proškolení je sepsán záznam.

**BOZP**

Školení bezpečnosti a zdraví při práci je rovněž prováděno v den nástupu do zaměstnání. Provádí jej bezpečnostní pracovník společnosti PEPOVO s.r.o. Pracovníkům jsou představena bezpečnostní rizika, se kterými se mohou setkat i způsoby, jak se ohrožení zdraví při práci vyvarovat. Jsou jim poskytnuty potřebné pomůcky a prostředky ochrany zdraví při práci. Mezi ty patří neprůřezné rukavice a ochranné brýle. Kmenoví pracovníci mají nárok také na pracovní obuv a oděv.

**ICT**

Správu ICT zařízení provádí IT oddělení společnosti. Jedná se především o kontrolu, údržbu a opravy případných potíží s výrobními terminály, na kterých je spuštěn MES systém používaný k monitorování výroby. Úkolem IT oddělení je také uživatelská podpora ostatních zaměstnanců společnosti. Ti se na toto oddělení mohou obrátit při nejrůznějších problémech s hardwarem nebo softwarem, který používají při výkonu své práce.

**Úklid**

Část úklidových prací ve výrobě provádí operátoři výroby při případných prostojích výrobních zařízení. Větší část úklidu je ale prováděna zaměstnanci úklidové agentury, se kterou společnost PEPOVO s.r.o. spolupracuje. Jedná se o každodenní úklid šaten, sociálních zařízení, kanceláři i komunikačních prostorů ve firmě.

## 3.6 Detailní analýza výrobního procesu

V této části mé bakalářské práce se zaměřím na analýzu procesu výroby dvou konkrétních produktů z portfolia společnosti PEPOVO s.r.o. Výrobky jsou součásti vzduchových rozvodů pro osobní automobily.

### 3.6.1 Popis pracoviště

Produkce těchto výrobků je v současné době rozdělena mezi dvě pracoviště. Obě z těchto pracovišť se nachází ve výrobní hale číslo 1. V první fázi probíhá výroba metodou vyfukování plastů na pracovišti 01 a následně dochází ve druhé fázi k montáži dalších komponent a ultrazvukovému svařování plastových částí na pracovišti 06. (11)

Na pracovišti 01 se nachází stroj, z něhož jsou následně odebírány plastové výrobky, na kterých zde dále probíhají dokončovací práce a následuje balení. Celkové rozměry

pracoviště jsou zhruba 9 x 6 metrů. Na obrázku č. 7 v kapitole 3.6.3 můžeme vidět layout pracoviště. (11)

K dalšímu zpracování produktů, ve druhé fázi, dochází na pracovišti 06, které má rozměry 6,1 x 3,7 metrů. Výrobky jsou sem převezeny po první fázi jejich produkce a po montáži komponent a svařování jsou baleny a odváženy na sklad hotové výroby. (11)

### 3.6.2 Řízení průběhu výroby

**Zadávání práce**

Výše jsem uvedl, jak probíhá řízení výroby ve společnosti obecně. Pokud je tedy operátorovi výroby, dle rozpisu rozdělení pracovišť přiděleno pracoviště 01 nebo 06, na toto pracoviště je povinen se dostavit 5 minut před začátkem své směny. Na pracovištích se nachází složka s pracovními instrukcemi, kterou sem je povinen umístit směnový mistr nebo jeho zástupce před započetím výroby výrobní dávky. V této složce si může operátor výroby nastudovat, případně ověřit pracovní postup opracování tohoto výrobku. Pokud opracování výrobku provádí poprvé, musí být řádně proškolen. Školení operátorů výroby provádí školitel, který operátorovi výroby práci předvede a následně ověří, zda je operátor schopen tuto práci zvládnout. Záznam o provedeném školení je proveden do formuláře, který se nachází ve složce s pracovními instrukcemi.

**Odvádění práce**

Ve společnosti je používán MES systém, sloužící ke sledování průběhu výroby v reálném čase. Kusy hotových výrobků jsou do systému zaznamenávány pomocí propojení s výrobním zařízením. V případě produkce na pracovišti 01 je další kus přičten při každém zdvihu formy. Při montáži a svařování dílů na pracovišti 06 je další kus zaznamenán při spuštění svařovacího cyklu ultrazvukové svářečky. Odvádění práce je prováděno pomocí tohoto MES systému a údaje o odvedené práci jsou využívány oddělením výroby k operativnímu řízení výroby. Odvedení práce pomocí tohoto systému je uskutečněno vždy, když dojde k odregistrování, nebo zaregistrování operátora výroby k danému výrobnímu příkazu. Tato situace nastává zpravidla při přihlašování a odhlašování operátorů při změně směn, nebo při střídání operátorů na dobu povinné pracovní přestávky. Odvod práce lze tedy provádět v průběhu plnění výrobní zakázky, čímž je docíleno většího přehledu o plnění výrobního plánu. Odečtení NOK kusů

vzniklých při výrobním procesu je povinen zaznamenat operátor výroby. Provede tak na obrazovce výrobního terminálu.

### 3.6.3 Průběh výroby

**Výrobní postup 1. fáze**

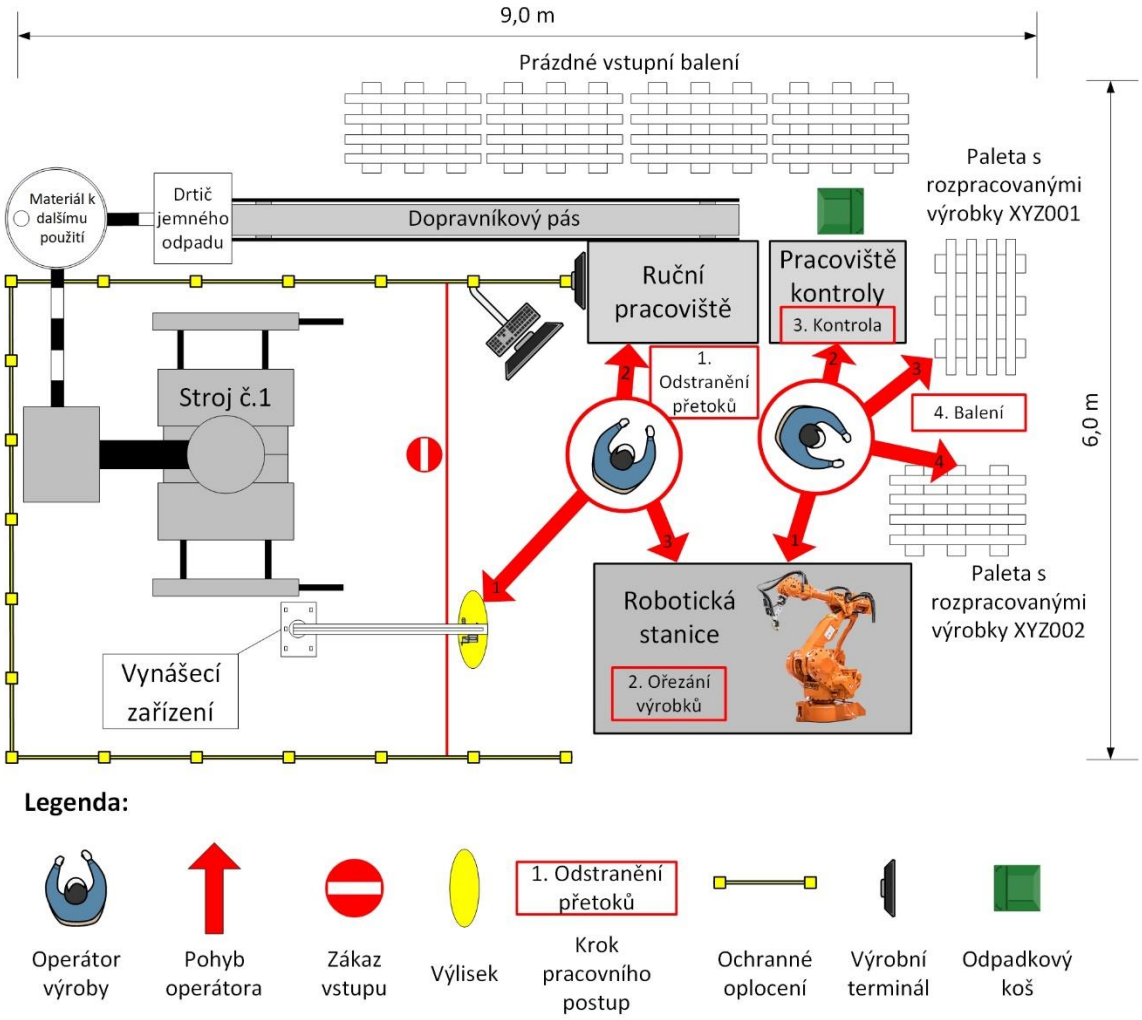
Jak už bylo výše zmíněno, k první fázi produkce dochází na pracovišti 01. Opracování výrobků v rámci tohoto pracoviště provádí 2 operátoři výroby. Na pracovišti se nachází stroj, který pomocí technologie vytlačovacího vyfukování produkuje plastové vyfukované díly. Technologie spočívá ve vytlačování parisonu z vytlačovací hlavy stroje, jeho následném zavření do formy a vyfouknutí horkým vzduchem do požadovaného tvaru, dle specifikace zákazníka. Při tomto konkrétním procesu dochází k výrobě dvou různých výrobků v jedné formě zároveň. Následně dojde k procesu chlazení, odvzdušnění formy, otevření formy a přemístění výrobků z formy pomocí vynášecího zařízení s čelisťovým úchopem (ve tvaru nůžek). Z formy jsou tyto výrobky odebrány oba dva dohromady i s přetoky materiálu okolo výrobků. (11; 13, s. 9 – 10)

První operátor výroby odebere tyto výrobky z vynášecího zařízení a přemístí je na ruční pracoviště, kde pomocí nože provede odstranění přetoků okolo výrobků. Při jejich opracování postupuje dle pracovních instrukcí. Pracovní instrukce se během produkce výrobků nachází ve složce na pracovišti. Postup opracování výrobků je následovný: operátor výroby postupně nožem nařezává přetoky na určených místech, provede jejich odstranění od výrobků a následně je umístí na dopravníkový pás, který je dopraví do drtiče jemného odpadu, aby mohlo dojít k jejich recyklaci. Materiál, který je odstraněn se tedy v procesu výroby znovu použije. Po odstranění všech přetoků vezme operátor výroby výrobky, založí je do ořezávacího přípravku v robotické stanici a pomocí stisku dvou zelených tlačítek zároveň spustí automatický chod robota. (11)

Druhý z operátorů výroby, kteří se na tomto pracovišti nachází, vyjme již dva samostatné ořezané díly označené XYZ001 a XYZ002 z ořezávacího přípravku a provede jejich vizuální kontrolu dle vyobrazení v pracovních instrukcích. Kontroluje především výšku ořezů, tvar dílů a otvory na výrobku. Následně provede pomocí speciálního otočného nože kontrolu třech vyseknutých děr na výrobku. Na vnitřní straně děr se nesmí nacházet otřep, který by tak znehodnocoval tento výrobek a jeho následné použití. Po této kontrole následuje zabalení výrobku do přepravních KLT boxů dle balícího předpisu. V

současném balícím předpisu můžeme najít, že jsou oba výrobky baleny vždy po 8 ks do jednoho KLT boxu, přičemž těchto KLT boxů se na EURO paletu naskládá 6. Na jedné paletě se tedy nachází 48 ks výrobků. Po uložení posledního boxu na paletu, dle balícího předpisu, tuto paletu operátor výroby uzavře víkem a označí ji štítkem pro označení rozpracované výroby a expedičním štítkem. Tyto štítky přilepí operátor výroby na pravý horní KLT box, při pohledu z delší strany palety a připraví tuto paletu na odvoz. (11)

Na následujícím obrázku č. 7 můžeme vidět layout pracoviště 01. Je zde znázorněno vybavení pracoviště, obsluha potřebná k průběhu procesu a dráhy pohybu jednotlivých operátorů.




**Obrázek č. 7: Layout pracoviště 01** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11)

### Mezioperační doprava

Následuje přeprava do skladu rozpracované výroby. Tu provádí manipulant pomocí vysokozdvižného vozíku. Před odvozem palety z výrobní haly naskenuje čárový kód

z expedičních štítků pomocí čtečky čárových kódů. Výrobky se tak zaevidují do ERP softwaru, který je používán pro sledování skladových zásob ve společnosti. Palety s výrobky jsou tedy po první fázi výroby odvezeny do skladu rozpracované výroby, kde je manipulant zaskladní. Před použitím výrobků ve 2. fázi výroby, tyto manipulant opět vyskladní ze skladu rozpracované výroby a převeze je k pracovišti 06, na kterém probíhá 2. fáze výroby. Při současném chodu pracovišť 01 a 06 mohou být tyto palety převáženy přímo na pracoviště 06, kde se uskutečňuje 2. fáze výrobního procesu. Zpravidla se tak však neděje, jelikož operace ve 2. fázi výroby zabírají více času, než operace prováděné ve fázi 1. a docházelo by tak k hromadění rozpracované výroby na tomto pracovišti. (11)

**Výrobní postup 2. fáze**

V průběhu 2. fáze výroby dochází k montáži komponent na produkt z 1. fáze popsané výše a k ultrazvukovému svařování plastových částí. Opracování výrobku, probíhající na pracovišti 06 provádí jeden operátor výroby. Před započetím 2. fáze výroby je nutno k tomuto pracovišti navézt tyto komponenty a výrobky, které jsme vyprodukovali v 1. fázi. Jak už jsem zmínil výše, dopravu výrobků a komponent na pracoviště provádí manipulant. Komponenty pro oba výrobky jsou stejného typu a množství. Liší se pouze tvarově. Jednou z komponent jsou plastové rámečky, které se vyrábí rovněž ve společnosti PEPOVO s.r.o., avšak metodou vstřikování plastů. Druhou komponentou jsou pěnové výplně, které se do výrobku vkládají z akustických důvodu. (11)

2. fáze výrobního procesu začíná na pracovišti 06 tím, že operátor výroby vyjme výrobky XYZ001 a XYZ002 z balení a provede pomocí otočného nože kontrolu třech vyseknutých děr na výrobku XYZ001. Tento pracovní krok je prováděn i v první fázi, avšak ve 2. fázi může výrobek opracovávat jiný operátor výroby, a je tedy nutné, aby takto ověřil kvalitu přebíraných dílů. Na vnitřní straně děr se nesmí nacházet otřep, který by tak znehodnocoval tento výrobek vzhledem k jeho následnému použití. (11)

Následuje vložení pěnové výplně do otvoru ve výrobku, dle pracovních instrukcí. Tyto pěnové výplně jsou vkládány do obou výrobků. Následuje instalace plastového rámečku, který je umístěn na otvor, do kterého byla vložena pěnová výplň. Díky zářezům na pěnové výplni je zajištěna přesná pozice pěnové výplně vůči rámečku. Při instalaci rámečku je nutno dbát na jeho správné pozicování dle pracovních instrukcí. Výrobky s vloženými pěnovými výplněmi a nainstalovaným plastovými rámečky jsou nyní připraveny pro další opracování. Jak jsem výše zmínil, komponenty se liší svým tvarem. K záměně by tedy

nemělo dojít, avšak, aby bylo sníženo riziko chyb, je pracoviště uspořádáno tak, aby se na levé straně pracovního stolu nacházeli komponenty pro jeden a na pravé straně pro druhý výrobek. Pěnové výplně jsou navíc označeny písmeny L a R, aby bylo zřetelné, do kterého z výrobků mají být vkládány. (11)

Po montáži komponent se operátor výroby zaměří na založení klipů do ultrazvukové svářečky. Z boxu, umístěného na přední straně svářečky vezme 4 kovové klipy a provede jejich založení do matric, které se nachází v prostoru ultrazvukové svářečky, okolo přípravků, pro založení svařovaných dílů. Správné založení klipů signalizuje oranžová indikace laserového snímače. Pokud se oranžová indikace nerozsvítí, jsou klipy založeny špatně a je nutno jejich založení opravit. (11)

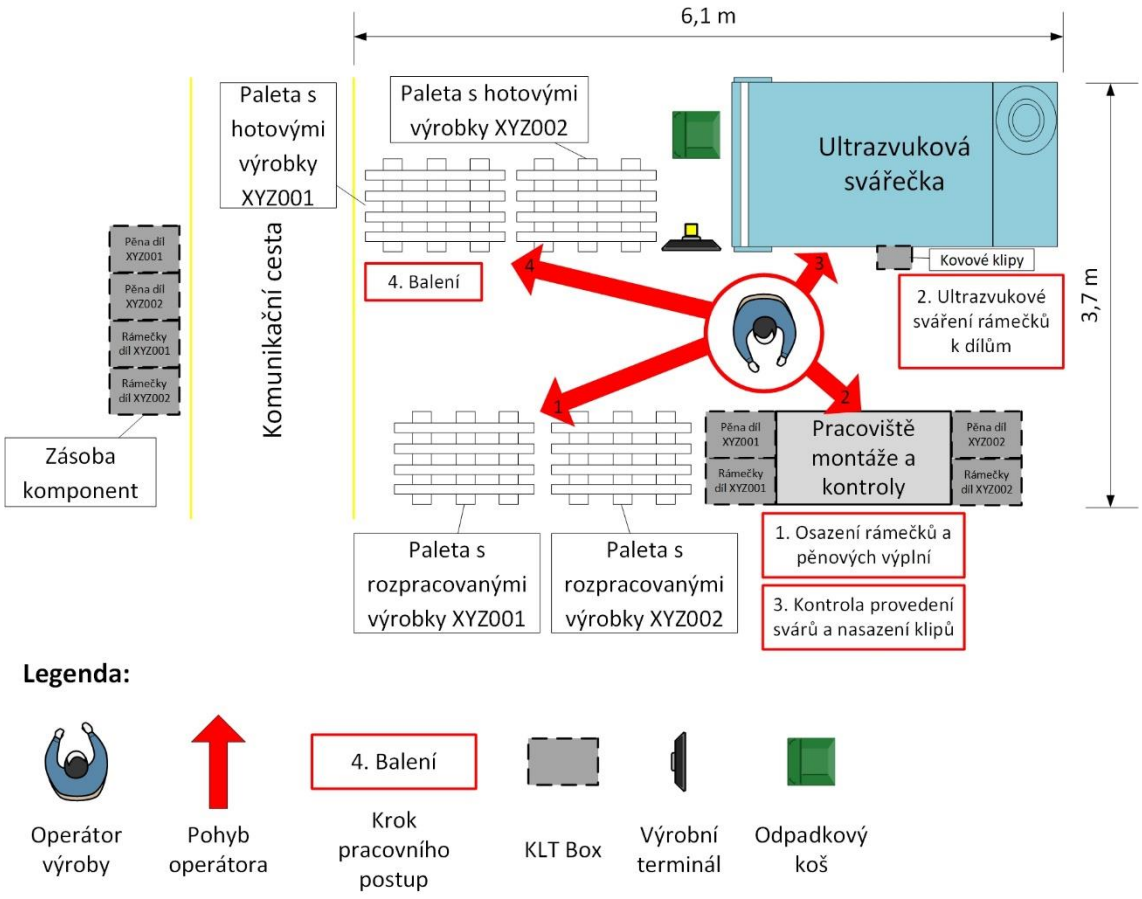
Dalším krokem pracovního postupu je založení smontovaných dílů, tedy dílů s pěnovými výplněmi a rámečky do přípravků v ultrazvukové svářečce. Výrobek XYZ001 s komponenty je nutno založit do přípravku na levé straně. Do přípravku na straně pravé je poté založen výrobek XYZ002 s jeho komponenty. (11)

Po umístění výrobků do přípravků v ultrazvukové svářečce zkontroluje operátor výroby status na monitoru svářečky. Pokud je status „Automatický cyklus připraven“, provede jeho spuštění pomocí optického tlačítka start. Během automatického chodu ultrazvukové svářečky dojde nejprve ke svaření plastových rámečků s díly XYZ001 a XYZ002. Následně dojde k nacvaknutí klipů na díly. Po ukončení automatického chodu vyjme operátor výroby díly ze svářečky a provede kontrolu provedení svárů a nasazení klipů. (11)

Takto zkontrolované díly zabalí operátor výroby do připraveného balení dle balícího předpisu. Stejně jako v 1. fázi, tak i zde, jsou výrobky vkládány do KLT boxů po 8 kusech. KLT boxů se nachází opět 6 ks na jedné EURO paletě a na každé z palet tedy 48 ks hotových výrobků. Po uložení posledního boxu paletu uzavře víkem, označí ji expedičním štítkem a připraví ji tak na odvoz. Operátor výroby přilepí štítek na pravý horní KLT box, při pohledu z delší strany palety. (11)

Před odvozem palety z výrobní haly manipulant naskenuje čárový kód z expedičních štítků pomocí čtečky čárových kódů. Výrobky se nyní opět zaevidují do ERP softwaru. Palety s hotovými výrobky jsou následně odvezeny do skladu hotové výroby, kde je manipulant zaskladní. (11)

Layout pracoviště 06 včetně obsluhy potřebné k průběhu procesu a drah pohybu, který obsluha vykonává, můžeme vidět na obrázku č. 8 níže.




**Obrázek č. 8: Layout pracoviště 06** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11)

### 3.6.4 Časový snímek procesu

Na základě pozorování a měření časové spotřeby jednotlivých činností procesu jsem sestavil časový snímek procesu. Z důvodu citlivosti dat, byly tyto časové údaje pro potřeby mé bakalářské práce modifikovány. Trvání každé z činností jsem zjišťoval měřením doby jejich trvání přímo na konkrétních pracovištích během výroby. Jednotlivé činnosti, které jsou prováděny, jsem rozdělil na hodnototvorné a nehodnototvorné. K rozlišení činností jsem v tabulce č. 12 na straně 77 a v tabulce č. 13 na straně 78 použil terminologii, kterou používá metodika Lean:

- VA (hodnototvorné činnosti, anglicky: *Value-Adding*)
- NVA (nehodnototvorné činnosti, anglicky: *Non-Value-Adding*)
- ENVA (činnosti nezbytné pro průběh procesu, které však nepřidávají hodnotu pro koncového zákazníka, anglicky: *Essential-Non-Value-Adding*)

Na časovém snímku procesu, respektive procesního toku, vidíme, jaká je časová náročnost opracování výrobku na jednotlivých pracovištích, potažmo doba opracování jednotlivými operátory výroby. Lze snadno vyčíst, že vyvážení pracovišť není ideální, jelikož trvání operací, prováděných operátorem výroby v rámci druhého pracoviště je značně delší, než je tomu u pracoviště prvního. Nevyváženost pracovišť lze pozorovat i z údajů o časech cyklu každého z pracovišť. Práci na prvním z pracovišť provádí 2 pracovníci a z důvodu pravidelného chodu výrobního zařízení je nutné, aby zde byl definován přesný čas každého cyklu. Práce obou operátorů výroby je tedy vyvážená tak, aby všechny potřebné činnosti stihli vykonat během toho, než bude vynášecím zařízením odebrán další výrobek ze stroje. Na druhém pracovišti operátor výroby odebírá výrobky z balení a dále se věnuje montáži komponent. Není tedy nijak ovlivněn chodem výrobního zařízení a čas cyklu, kterého zde bude dosaženo v podstatě záleží na jeho výkonu. Činnosti, které jsou prováděny na druhém z pracovišť zaberou více času, a navíc je trvání ovlivněno právě výkonem, potažmo zkušenostmi daného pracovníka. Aktuální časy cyklu, kterých je dosahováno na jednotlivých pracovištích můžeme vidět na časovém snímku na straně 77. U prvního z nich se jedná o hodnotu 194 sekund, u druhého z nich jsme schopni činnosti provést za 252 sekund. Kvůli nevyváženosti pracovišť dochází k hromadění rozpracované výroby před tímto pracovištěm, případně ve skladu rozpracované výroby.

Díky rozdělení činností na ty, které jsou hodnototvorné, a naopak na ty, které hodnotu nepřidávají, jsem schopen označit činnosti, na jejichž odstranění, případně optimalizaci je nutno se zaměřit. Jedná se zejména o dopravu mezi oběma fázemi výrobního procesu, zaskladňování a vyskladňování rozpracovaných výrobků. Dle mého názoru je aktuální podoba procesu, kdy je práce prováděna na dvou pracovištích a na celém procesu se podílí 3 pracovníci poměrně neefektivní.

# 4 NÁVRHOVÁ ČÁST

Pro řešení problému nalezeného v předchozí části mé práce, se jako vhodná metoda jeví využití prediktivní simulace, která je schopna zahrnout i náhodné vlivy, které mohou v procesu působit. V této části práce vytvořím digitální dvojče současné podoby procesu, díky kterému budu moci simulovat, a ještě detailněji analyzovat současnou podobu procesu. Návrh je založen na metodice simulačního projektu, kterou jsem popsal v teoretické části své práce, v kapitole 2.4.3. Při vytvoření návrhu na zlepšení přistoupím k vytvoření modelu navrhovaného procesu, s kterým budu schopen provést prediktivní simulaci dopadu navrhovaných změn. Porovnáním současné a navrhované verze procesu ukážu zlepšení, kterého je společnost schopna dosáhnout. Při optimalizaci procesu se zaměřím především na situování všech činností na jedno pracoviště, zkrácení doby průchodu odvolávky podnikem, snížení počtu pracovníků a s tím související zvýšení míry robotizace.

## 4.1 Digitální dvojče současné podoby procesu

Při tvorbě digitálního dvojčete procesu, respektive jeho současné podoby, budu postupovat podle metodiky simulačního projektu, kterou jsem popsal v teoretické části své práce. Digitální dvojče jsem vytvořil pomocí softwaru Witness Horizon 22.

### 4.1.1 Tvorba konceptu modelu

Koncept modelu vychází z popisu procesu, který se nachází v kapitole 3.6 a z prostorového rozmístění pracovišť, které lze vidět na obrázcích č. 7 a č. 8. Začal jsem tím, že jsem si definoval elementy, které budou symbolizovat jednotlivé činnosti, které jsou v rámci procesu prováděny a části, které tvoří vstupy či výstupy daných činností, případně procesu jako celku. Některé z činností byly v modelu rozděleny dle toho, jestli je opracováván výrobek XYZ001 nebo výrobek XYZ002. K tomuto jsem přistoupil kvůli detailnějšímu sledování rozpracované výroby ve statistikách, které tento program dokáže vygenerovat. Podstatné bylo zachytit návaznosti mezi jednotlivými činnostmi, přiřadit k nim dané pracovníky a správně namodelovat přepravu rozpracovaných výrobků.

### 4.1.2 Sběr dat

Nejdůležitějšími údaji, které jsem pro tvorbu simulačního modelu potřeboval, byli časové údaje týkající se procesu a množství produktů, které je nutno během procesu vyrobit.

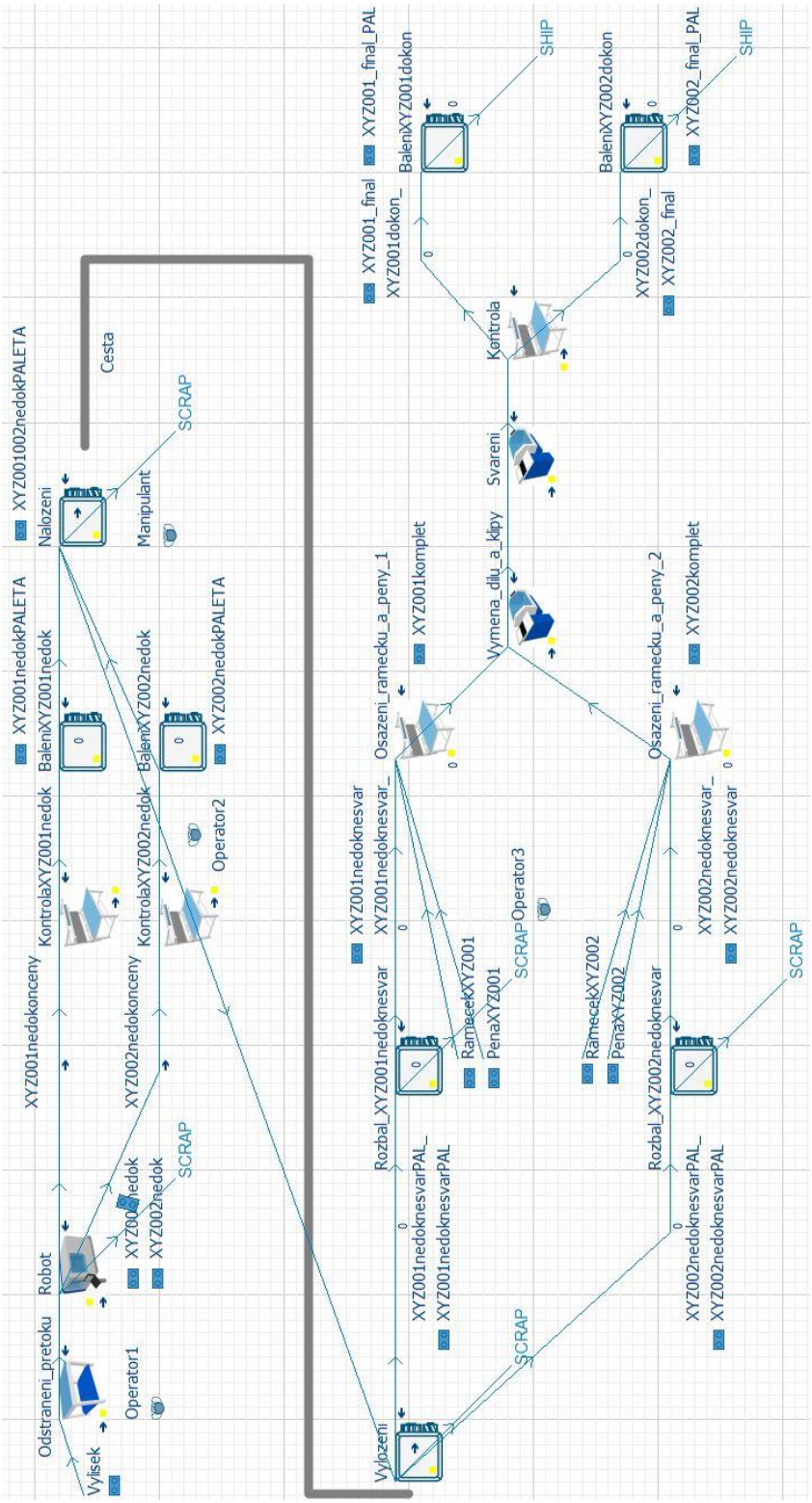
Společnost mi byla schopna poskytnout data, která zaznamenává MES systém na základě propojení s výrobními zařízeními (stroj č. 1 a ultrazvuková svářečka). Tyto data by mi však poskytovala informace pouze o čase cyklu každého z pracovišť a bylo tedy nutno si informace rozšířit. Časové údaje jsem si zaznamenal během pozorování výrobního procesu přímo ve výrobě, kde jsem provedl měření jednotlivých činností. Trvání každého úkonu jsem měřil 15 – 20 krát, abych následně získal průměrnou hodnotu, která bude odrážet reálné trvání dané činnosti. Počet měření mi přišel dostatečný, jelikož činnosti se opakují stále dokola a z vlastní zkušenosti v rámci praxe vykonávané v podniku vím, že nedochází k výrazným odchylkám v trvání jednotlivých úkonů. Časové údaje, zaznamenané do časového snímku procesu, lze vidět v tabulce č. 12 na straně 77. Na základě dat poskytnutých společností PEPOVO s.r.o. jsem dále zjistil, že průměrná velikost odvolávky k daným výrobkům je v objemu 1440 ks, což je množství, které odpovídá kapacitě 30 palet. Objem výroby bude důležitý pro následnou simulaci.

### 4.1.3 Tvorba počítačového modelu

Vytvoření modelu pomocí programu Witness Horizon 22 proběhlo po předchozím zpracováním layoutů pracovišť, které obsahují i dráhy pohybu jednotlivých pracovníků. Na základě prostorového rozmístění a úloh jednotlivých operátorů výroby jsem vytvořil model, kterým jsem chtěl co nejlépe odrazit skutečný stav. Podobu modelu včetně zobrazení návazností činností a součástí můžeme vidět na obrázku č. 9 na následující straně.

### 4.1.4 Ověření a schválení podoby modelu

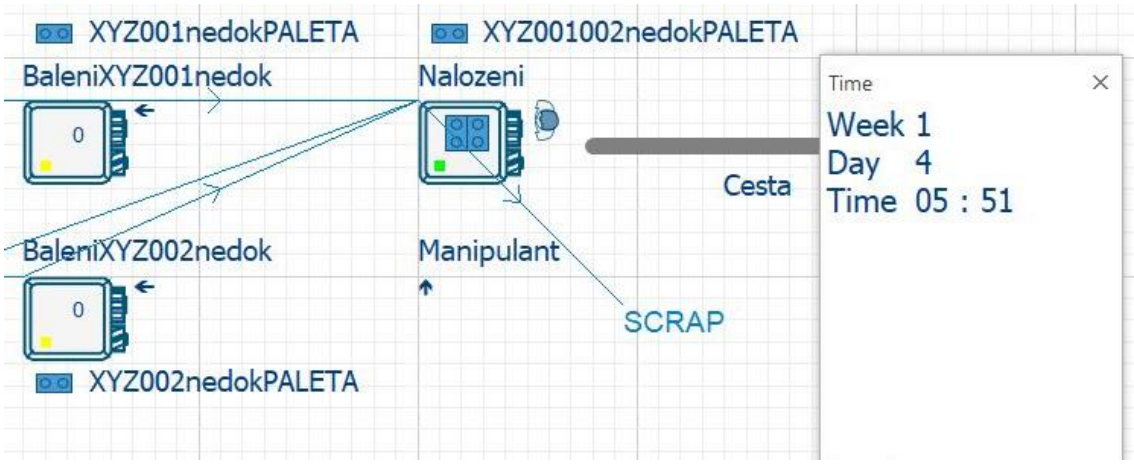
Nejpodstatnější bylo namodelovat návaznost jednotlivých činností a přiřadit jim správnou délku jejich trvání. Tento požadavek model splňuje a simulace procesu je rovněž nastavena tak, aby konečným výstupem bylo 1440 ks výrobků. Toto množství je i průměrnou velikostí odvolávky, kterou zasílá zákazník společnosti PEPOVO s.r.o. Daný model tedy dostatečně odráží skutečnost.



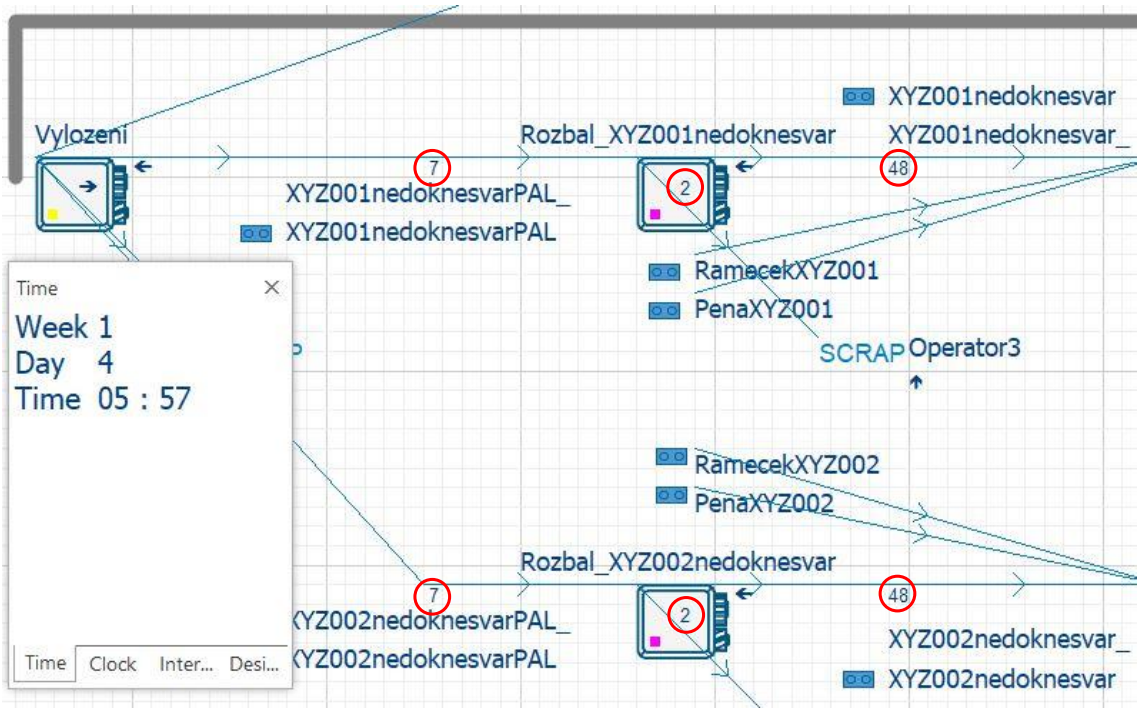

**Obrázek č. 9: Screenshot modelu současné podoby procesu z programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování)

### 4.1.5 Výsledky a reportování aktuálního stavu

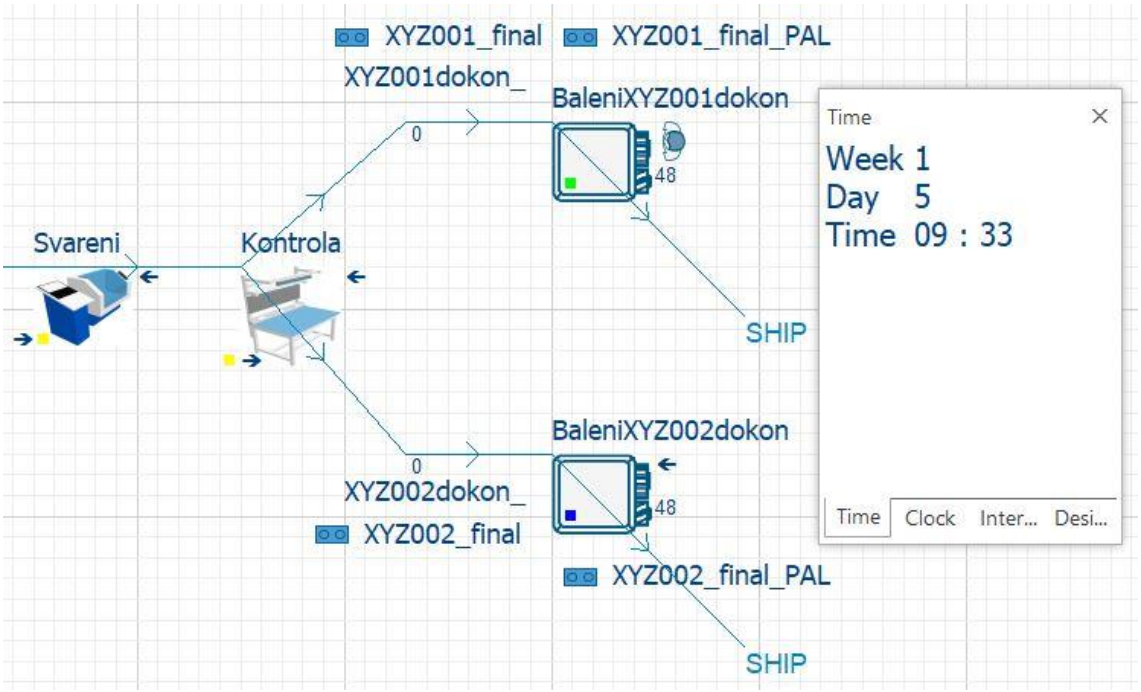
Poté, co byla simulace současné podoby procesu provedena, bylo potvrzeno to, k čemu zpravidla dochází i ve skutečnosti. Stejně jako ve skutečnosti, i na tomto modelu jsem pozoroval hromadění rozpracované výroby před druhým z pracovišť, tedy mezi 1. a 2. fází výrobního procesu. Na obrázku č. 10 níže je zobrazen čas, ve kterém dojde k odvozu posledních výrobků z pracoviště, na kterém probíhá 1. fáze výrobního procesu. Dále vidíme detail místa, kde dochází k hromadění výroby. Jak můžeme níže vidět, 1440 ks výrobků projde v ideálním případě, tedy pokud nedojde k poruše výrobního zařízení, 1. fází za 3 dny, 5 hodin a 51 minut, respektive za 77 hodin a 51 minut. Množství rozpracované výroby lze na modelu sledovat podle obsazenosti zásobníků XYZ001nedoknesvarPAL_ a XYZ002nedoknesvarPAL_ na druhém screenshotu na obrázku č. 11. Zde se nachází 7 celých palet po 48 ks, 2 ks na každé z palet, z kterých se polotovary momentálně odebírají a dalších 48 ks v zásobnících XYZ001nedoknesvar_ a XYZ002nedoknesvar_. Celkově tedy 386 ks rozpracované výroby od každého z výrobků. Tyto výrobky ještě musí projít 2. fází výrobního procesu. Na třetím screenshotu modelu na obrázku č. 12 je možno vidět, že výroba bude dokončena 5. den, v čase 9 hodin a 33 minut, tedy po dalších 27 hodinách a 42 minutách. Celkový čas zpracování odvolávky je tedy 105 hodin a 33 minut. V tabulkách, které jsou umístěny pod obrázky zmíněnými v tomto odstavci, můžeme vidět statistické údaje týkající se procesu. Tyto údaje jsem převzal rovněž z programu Witness Horizon 22. Data, týkající se pracovníků, činností a součástí z 1. fáze jsem exportoval již po dokončení této fáze procesu.




**Obrázek č. 10: Ukončení 1. fáze výrobního procesu v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování)




**Obrázek č. 11: Hromadění rozpracované výroby v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování)




**Obrázek č. 12: Ukončení 2. fáze výrobního procesu v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování)

V tabulce č. 2 lze vidět vytížení pracovníků, kteří se na procesu podílí. Problém je však v tom, že pracovníci, přiřazení k činnostem v 1. fázi, po skončení této fáze nevykonávají

žádnou aktivitu a hodnoty vygenerované po skončení celého procesu by tím pádem zkreslovali situaci.

**Tabulka č. 2: Vytížení pracovníků současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Pracovník | Zaměstnaný (%) | Nezaměstnaný (%) |
|---|---|---|
| Operator1 | 95,88 | 4,12 |
| Operator2 | 81,11 | 18,89 |
| Manipulant | 0,95 | 99,05 |
| Operator3 | 97,36 | 2,64 |

Tabulka č. 3 zaznamenává data související s některými součástkami, které se v modelu procesu vyskytují. Vybral jsem pouze součásti, které dosahovali vysoké průměrné hodnoty v množství rozpracované výroby a s tím spojený průměrný čas, který součásti v tomto procesu strávili. U součástí XYZ001_final a XYZ002_final je vyšší čas zapříčiněn tím, že se hromadí v zásobníku před finálním zabalením.

**Tabulka č. 3: Statistika součástí současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Název součásti | Průměrné rozpracované množství (ks) | Průměrný čas, strávený v procesu (min) |
|---|---|---|
| XYZ001nedok | 24,47 | 79,49 |
| XYZ002nedok | 24,70 | 80,24 |
| XYZ001nedoknesvarPAL | 2,53 | 533,50 |
| XYZ002nedoknesvarPAL | 2,54 | 536,18 |
| XYZ001nedoknesvar | 67,24 | 289,77 |
| XYZ002nedoknesvar | 67,08 | 289,10 |
| XYZ001_final | 23,65 | 104,04 |
| XYZ002_final | 23,88 | 105,04 |

Do poslední tabulky v tomto odstavci, tedy do tabulky č. 4 jsem se rozhodl uvést data, která souvisí s vytížením jednotlivých pracovišť v modelu. Opět jsem vybral pouze

některé z pracovišť, potažmo činností, které jsou prováděny u každého páru výrobků a jejichž hodnoty jsou vzhledem k dalšímu obsahu mé práce podstatné.

**Tabulka č. 4: Vytížení jednotlivých pracovišť současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Název pracoviště/činnosti | Činnost (%) | Nečinnost (%) | Blokováno (%) | Čekání na pracovníka (%) |
|---|---|---|---|---|
| Odstraneni_pretoku | 95,73 | 4,27 | 0,00 | 0,00 |
| Robot | 60,03 | 39,97 | 0,00 | 0,00 |
| KontrolaXYZ001nedok | 40,02 | 59,31 | 0,00 | 0,67 |
| KontrolaXYZ002nedok | 40,02 | 19,43 | 0,00 | 40,55 |
| Osazeni_ramecku_a_peny_1 | 20,23 | 2,78 | 31,12 | 45,87 |
| Osazeni_ramecku_a_peny_2 | 15,00 | 2,78 | 0,00 | 82,22 |
| Vymena_dilu_a_klipy | 30,69 | 17,76 | 0,00 | 51,56 |
| Svareni | 41,37 | 54,14 | 4,49 | 0,00 |
| Kontrola | 29,55 | 2,79 | 0,00 | 67,66 |

## 4.2 Návrh optimalizace výrobního procesu

Poté, co jsem provedl simulaci aktuální podoby procesu, byla nalezena jeho úzká místa. Jak lze výše vidět, tímto místem je převoz, respektive nutnost zaskladnění, rozpracované výroby mezi 1. a 2. fází výrobního procesu. Cílem navrhovaného řešení je snížit množství rozpracované výroby a zrychlit celkovou dobu průchodu dané odvolávky podnikem. Těchto cílů bych chtěl dosáhnout pomocí robotizace některých z činností procesu a situování všech činností procesu na jedno pracoviště.

Pro zamýšlenou podobu procesu je nutné, aby společnost disponovala potřebným strojním vybavením, které by novou podobu procesu umožňovalo. Jelikož se ve společnosti nachází 2 pracoviště, která jsou uzpůsobena tak, aby mohla velká část práce probíhat roboticky, neměl by být příliš velký problém aplikovat tuto technologii i na proces, který jsem analyzoval ve své bakalářské práci.

### 4.2.1 Průběh výroby

Oba výrobky budou, stejně jako v současné podobě procesu, vyráběny technologií vytlačovacího vyfukování společně. Tato technologie spočívá ve vytlačování parisonu z vytlačovací hlavy stroje a jeho následném uzavření do formy. Požadovaného tvaru dosáhneme vyfouknutím horkého stlačeného vzduchu do parisonu ve formě. Následně dojde k procesu chlazení, odvzdušnění formy, otevření formy a přemístění výrobků z formy pomocí vynášecího zařízení s čelisťovým úchopem (ve tvaru nůžek). (13, s. 9 – 10)

Výrobky budou uchopeny robotickým zařízením za pomoci podtlaku. Na robotické ruce bude osazen speciální přípravek ve tvaru výrobku, uvnitř kterého budou zabudovány přísavky pro podtlakové uchopení. Výrobky budou takto uchopeny včetně přetoků okolo nich. Odstranění přetoků bude probíhat ve stanici pro odstranění přetoků, která přetoky uchopí a společně s pohybem robotické ruky dojde k jejich odtržení od výrobku a následnému pádu do drtiče hrubého odpadu. Dalším důležitým krokem, kdy bude s výrobky manipulovat robotické zařízení, bude ořezání přebytečných částí výlisků. To bude provedeno pomocí pohybů robotické ruky proti ořezávacímu noži. Odřezané části budou odpadávat do nádoby umístěné na pracovišti ořezu, přímo pod nožem a dále budou odsávány do potrubí, vedoucího k drtiči jemného odpadu a recyklovány. Po provedení všech zmíněných operací, umístí robot tyto, již dva samostatné výrobky, na dopravníkový pás.

Po odebrání výrobků z dopravníkového pásu následuje část, která bude prováděna jedním nebo dvěma operátory výroby. První operací, která bude následovat, bude kontrola provedení ořezů, zejména jejich výšky a ověření vyseknutí děr na výrobcích dle pracovních instrukcí, pomocí otočného nože. Na vnitřní straně vyseknutých děr se nesmí nacházet otřepy. Pokud budou výrobky v pořádku, bude do obou vložena pěnová výplň a bude provedeno osazení plastových rámečků. Uspořádání pracoviště osazení rámečků a vložení výplní bude stejné jako v současné verzi procesu. Komponenty vkládané do výrobku XYZ001 budou na levé a pro výrobek XYZ002 naopak na pravé straně, díky čemuž bude zajištěna efektivita procesu a bude sníženo riziko záměny. Přesná pozice pěnové výplně vůči rámečku bude zajištěna díky zářezům na pěnové výplni. Výrobky s vloženými pěnovými výplněmi a nainstalovaným plastovými rámečky budou tedy připraveny k dalšímu kroku.

Následně operátor výroby z boxu, který je připevněn na přední straně ultrazvukové svářečky, vezme 4 kovové klipy. Ty založí do matric, které jsou součástí přípravku v ultrazvukové svářečce a poté do přípravku umístí také předem připravené výrobky s komponenty. Výrobek XYZ001 s komponenty do přípravku na levé straně a výrobek XYZ002 s jeho komponenty napravo. Správné založení klipů signalizuje oranžová indikace laserového snímače a pokud budou tyto klipy založeny špatně, nebude možné svářečku spustit. Pakliže je vše připraveno správně, status na displeji svářečky bude: „Automatický cyklus připraven“. Následovat bude automatický chod svářečky, který operátor spustí pomocí tlačítka na svářečce. Po nasazení kovových klipů na výrobek a svaření rámečků ke vzduchovým rozvodům, budou výrobky přemístěny na stolek, kde bude posléze prováděna kontrola.

Do svářečky bude umístěn další pár výrobků a po spuštění svářecího cyklu, provede pracovník výstupní kontrolu hotových výrobku z předešlého cyklu. Kontrolováno bude především provedení svárů plastových částí výrobku. Hlavním kritériem, které musí sváry splňovat je pevnost. Ta bude kontrolována dle jejich vzhledu, který musí odpovídat vzorku, jehož fotografie bude součástí pracovních instrukcí.

Po úspěšné kontrole budou oba výrobky zabaleny dle balícího předpisu, do KLT boxů, připravených na paletách na pracovišti. Na každé EURO paletě se bude takových KLT boxů nacházet opět 6 po 8 kusech hotových výrobků a celkové množství na paletě bude tedy 48 ks. Po naplnění posledních boxů budou palety zavřeny víkem a označeny expedičními štítky. Ty budou umístěny na pravém horním KLT boxu při pohledu z delší strany palety. Opět zde bude dodržováno označování štítků barevnými nálepkami, dle úrovně zaškolení operátora, které jsem popsal v kapitole 3.5.1 v odstavci „Kontrola kvality“. Takto označené palety budou připraveny k odvozu manipulantem.

Před odvozem palet do skladu hotové výroby manipulant naskenuje expediční štítek pomocí čtečky čárových kódů, čímž bude tato paleta zaznamenána i do ERP systému.

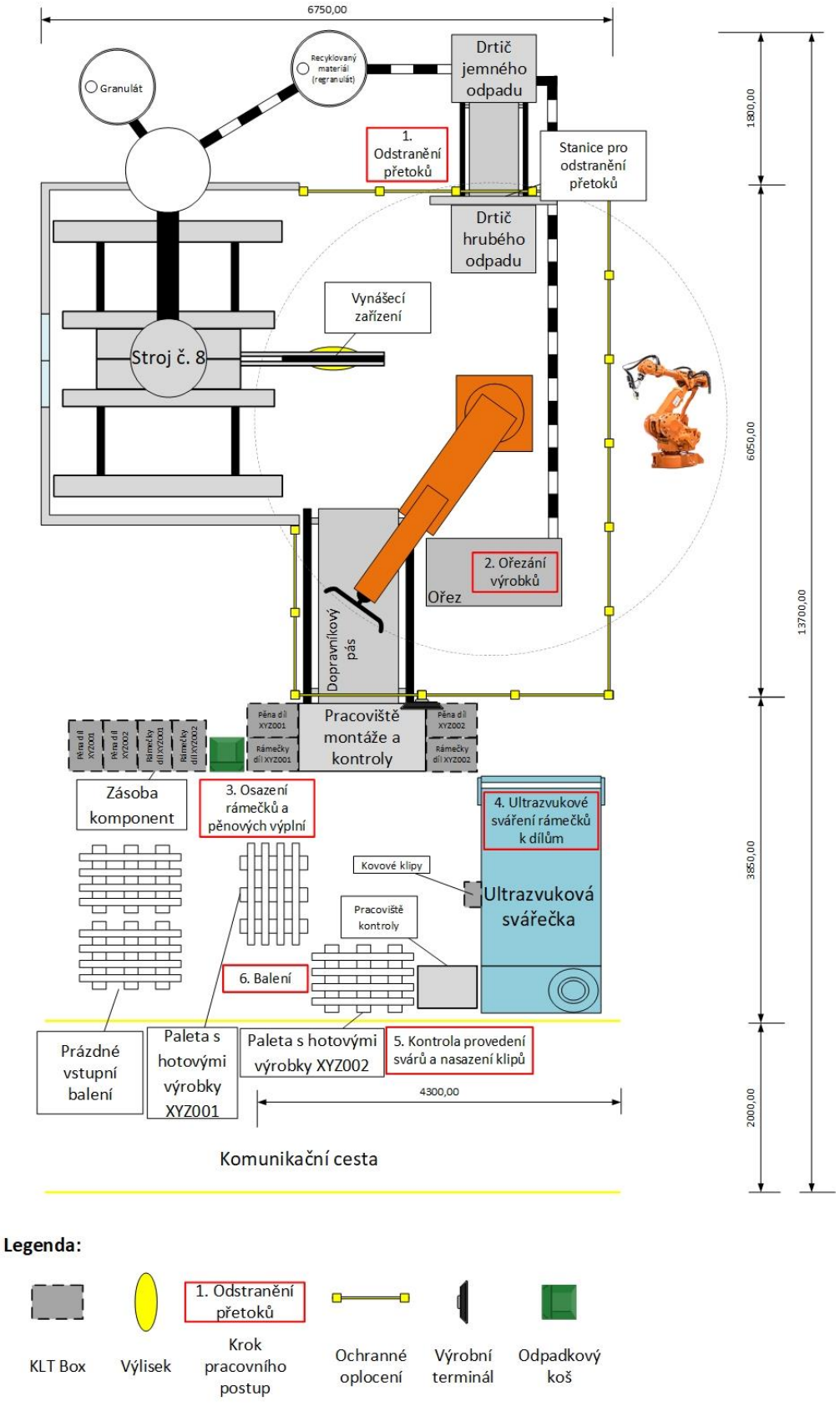
### 4.2.2 Potřebné vybavení pracoviště

Momentálně se na pracovišti číslo 08, kam by byla výroba přesunuta, nachází stroj pro produkci výrobků metodou vytlačovacího vyfukování, robotické zařízení sloužící k odebrání výrobků, dopravníkový pás a ruční pracoviště, na kterém jsou prováděny dokončovací práce a kontrola výrobků, které se zde již v současné době produkují.

V případě, kdy dochází k automatizovanému opracování výrobků, jsou robotická zařízení osazeny tvarově uzpůsobenými přípravky, které za použití podtlaku slouží k přesnému uchopení daného výrobku při jeho odebírání z vynášecího zařízení. Před přesunutím výroby na toto pracoviště, bude potřeba zajistit potřebné přípravky na míru vyrobené pro výrobky XYZ001 a XYZ002. Na pracovišti se momentálně nenachází stanice pro odstranění přetoků, kterou bude rovněž nutno osadit potřebným přípravkem ve tvaru daných výrobků, ani pracoviště ořezu. Pro lepší orientaci jsem shrnul současné a potřebné vybavení v následující tabulce č. 5. Na další straně je také layout pracoviště č. 08 pro navrhovanou podobu procesu.

**Tabulka č. 5: Vybavení pracoviště pro navrhovaný průběh procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

| **Zařízení, kterým společnost disponuje** | **Zařízení, které je nutno pořídit** |
|---|---|
| Stroj pro výrobu metodou vytlačovacího vyfukování | Stanice pro odstranění přetoků s přípravkem pro dané výrobky |
| Vynášecí zařízení | Ořezávací pracoviště |
| Robotické zařízení | Přípravek pro manipulaci s výrobky |
| Dopravníkový pás | |
| Drtič jemného odpadu | |
| Drtič hrubého odpadu | |




**Legenda:**




**Obrázek č. 13: Layout pracoviště 08** (Zdroj: vlastní zpracování)

## 4.3 Digitální dvojče navrhované podoby procesu

Po zjištění nedostatků, díky simulaci současné podoby procesu, jsem byl schopen nalézt jeho úzká místa a navrhnul jsem také opatření, která povedou k jejich odstranění. Dospěl jsem tedy k rozhodnutí, že bude výroba přemístěna na jiné pracoviště, kde bude společnost schopna spojit obě výrobní fáze v jednu. Je však potřeba ještě dořešit jaký bude počet pracovníků, kteří zde budou práci provádět, s čímž bude také souviset čas cyklu ve kterém bude výroba prováděna. K nalezení optimálního řešení jsem se rozhodl opět vytvořit digitální dvojče, tentokrát nové podoby procesu, v programu Witness Horizon 22.

### 4.3.1 Tvorba konceptu modelu

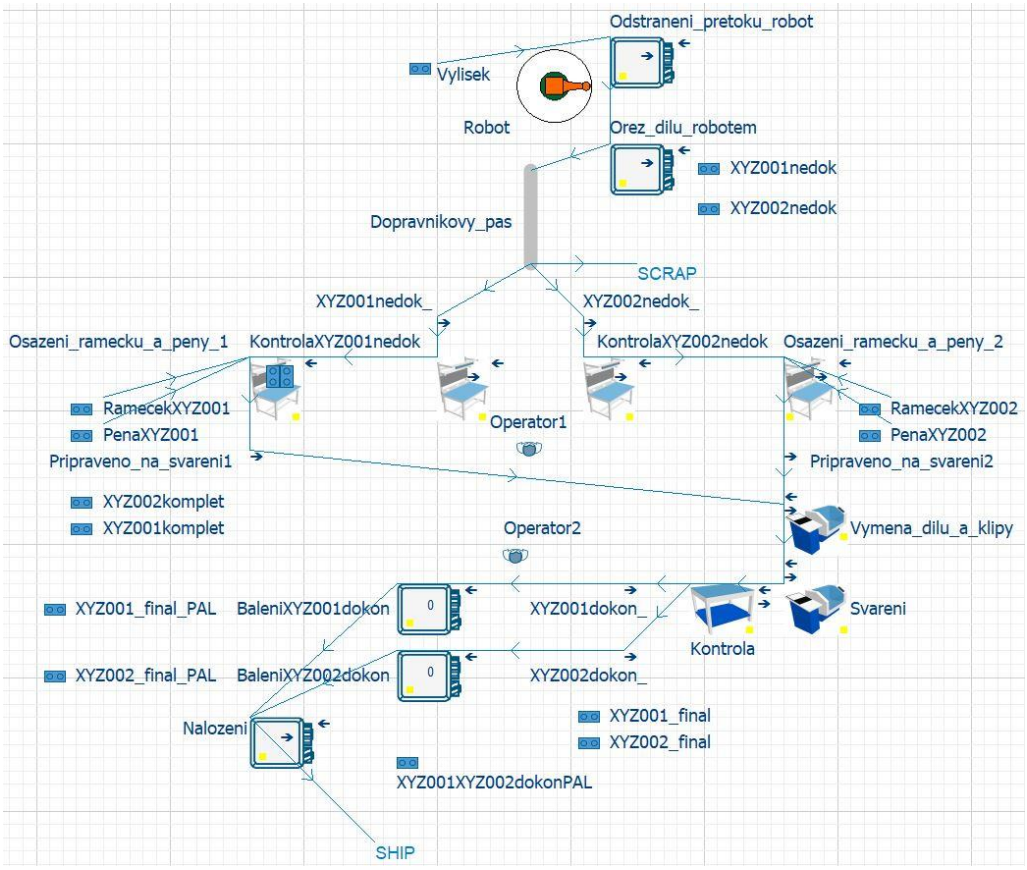
Podkladem pro tvorbu modelu bylo především prostorové uspořádání procesu, které jsem navrhnul a jehož podobu je možné vidět na předešlé straně. Stejně jako u modelu stavu současného, bylo nutné některé činnosti prováděné během produkčního procesu, rozdělit dle toho, zda je opracováván výrobek XYZ001 či XYZ002.

### 4.3.2 Sběr dat

Některé z činností, které jsou součástí tvořeného modelu, jsou totožné s činnostmi ze současné podoby procesu. Časy, které jsem naměřil při analýze procesu jsem tedy mohl použít i v části návrhové. Nově, však budou některé činnosti prováděny za pomoci robotického zařízení a dobu trvání těchto činností jsem stanovil na základě pozorování a měření času podobných úkonů, prováděných na jiných výrobcích.

### 4.3.3 Tvorba počítačového modelu

Při tvorbě modelu jsem opět definoval elementy, symbolizující skutečně prováděné činnosti a součásti nebo komponenty vstupující do konečného výrobku. Mezi těmito elementy byly vytvořeny návaznosti tak, aby daný model interpretoval, jak bude proces ve své nové podobě fungovat. Screenshot modelu se nachází na obrázku č. 14 další straně. Při tvorbě tohoto modelu jsem vycházel z popisu průběhu výroby, který lze vidět výše, v kapitole 4.2.1 Průběh výroby.




**Obrázek č. 14: Screenshot modelu navrhované podoby procesu z programu Witness Horizon 22**
(Zdroj: Vlastní zpracování)

### 4.3.4 Návrh experimentu

Jak už jsem výše zmínil, je nutné stanovit přesný čas cyklu nové podoby procesu a potřebu lidských zdrojů. V programu Witness Horizon 22 jsem nejprve provedl dva návrhy této podoby, jejichž podkladem byl popis průběhu optimalizovaného procesu z kapitoly 4.2.1. V prvním z návrhů prováděli práci dva pracovníci a čas cyklu byl kratší, ve druhém pouze jeden pracovník, avšak bylo potřeba také zvýšit čas cyklu. V první variantě docházelo k nižšímu vytížení jednoho z pracovníků, v druhé byl celkový čas zpracování odvolávky delší než za současného stavu.

Abych nalezl optimální řešení budu tedy pracovat s účelovou funkcí a s nástrojem Witness Experimenter. Tento nástroj je schopen provést simulaci mnoha různých variant procesu a díky jejich srovnání budu schopen vybrat tu, která bude nejvhodnější. Jednotlivé varianty podoby procesu, respektive jejich počet, je tvořen na základě toho, jakou variabilitu nastavíme jednotlivým elementům modelu. Cílem, kterého budeme chtít dosáhnout bude maximalizace vytížení pracovníků a současně snížení času zpracování

odvolávky. Stanovené cíle budou sledovány a vyhodnocovány pomocí účelové funkce: vytizeni = PUtil (Operator1,2); RETURN vytizeni. Elementy, které budou mít určitou míru variability a hodnoty, kterých mohou dosahovat, jsem uvedl v tabulce č. 6 níže. Původně jsem zamýšlel, že budou práci provádět dva operátoři výroby. Součet dob trvání jejich činností byl 5,11 minuty a činnosti jim byli rozděleny rovnoměrně, aby byly zhruba stejně vytíženi. Spodní hranici intervalu příchodu, potažmo času cyklu jsem stanovil dle toho, za jakou dobu budou provedeny všechny operace prováděné robotickým zařízením a tato hodnota byla vyšší než čas, který potřebovali operátoři výroby k provedení všech potřebných úkonů. Horní hranice je tedy součtem trvání všech operací, které musí operátor výroby provést, pokud bude na pracovišti sám.

**Tabulka č. 6: Přehled variabilních údajů elementů modelu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

| **Element v modelu** | **Variabilní údaj** | **Hodnoty (od – do)** | **Krok změny** |
|---|---|---|---|
| Operator1 (obsluha) | Množství | 1 – 2 | 1 pracovník |
| Vylisek (součást) | Interval příchodu (= čas cyklu) | 171 – 307 sekund (≈ 2,85 – 5,11 min) | 1 sekunda (≈ 0,0167 min) |

### 4.3.5 Běh simulace

Po vytvoření účelové funkce, která odráží míru vytížení pracovníků, jsem pokračoval zadáním hodnot, uvedených v tabulce č. 6 výše, do nástroje Witness Experimenter. Díky kombinaci různých intervalů příchodu součásti a různého počtu pracovníků, existuje 274 variant, které mohou být aplikovány. Výsledky jsem seřadil sestupně dle míry vytížení operátora, respektive operátorů výroby. Přesně u poloviny variant dosahovalo vytížení pracovníka hodnoty 99,00 %. V tabulce č. 7 lze vidět patnáct příkladů výsledků, které jsem simulací ve Witness Experimenter získal. Na prvním až pátém řádku se nachází výrobky, které byly po sestupném seřazení na čele výsledků. Zbylých deset jsem vybral ze středu tabulky, kde dochází ke snížení míry vytížení, a to tím způsobem, že pět z nich se nacházelo v horní a pět naopak v dolní polovině žebříčku. V tabulce č. 7 jsem barevně vyznačil 4 z variant, které podrobím důkladnější simulaci.

**Tabulka č. 7: Srovnání vybraných výsledků po provedení experimentu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Číslo scénáře | Vytížení operátorů (%) | Čas cyklu (min) | Počet operátorů |
|---|---|---|---|
| 1 | 99,000 | 2,850 | 1 |
| 205 | 99,000 | 4,553 | 1 |
| 3 | 99,000 | 2,867 | 1 |
| 209 | 99,000 | 4,587 | 1 |
| 5 | 99,000 | 2,883 | 1 |
| 133 | 99,000 | 3,952 | 1 |
| 273 | 99,000 | 5,110 | 1 |
| 135 | 99,000 | 3,969 | 1 |
| 139 | 99,000 | 4,002 | 1 |
| 137 | 99,000 | 3,986 | 1 |
| 2 | 89,000 | 2,850 | 2 |
| 4 | 89,000 | 2,867 | 2 |
| 6 | 88,000 | 2,883 | 2 |
| 8 | 88,000 | 2,900 | 2 |
| 10 | 87,000 | 2,917 | 2 |

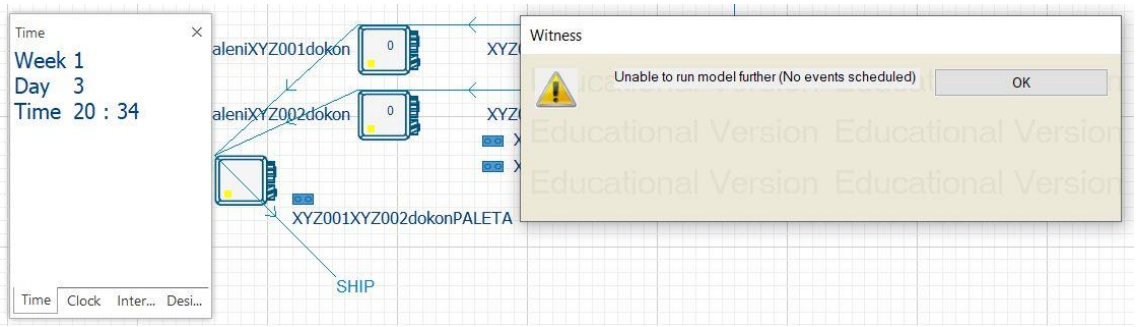
Ve třech z vybraných variant prováděl opracování výrobků jeden operátor výroby a v té poslední byli pracovníci dva. Faktorem, podle kterého se budu rozhodovat, kterou z variant budu brát jako předlohu pro návrh počtu pracovníků a časy cyklu, bude celková doba zpracování odvolávky o velikosti 1440 ks. Během simulace variant, kdy práci prováděl pouze jeden pracovník, docházelo k hromadění rozpracované výroby před pracovištěm, kde výrobek přebírá operátor výroby, po opracování robotem. Srovnání vybraných variant se nachází v následující tabulce č. 8.

**Tabulka č. 8: Srovnání výsledků vybraných variant procesu po provedení simulace** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Počet operátorů | Čas cyklu (min) | Vytížení operátorů (%) | Doba zpracování odvolávky (min) | Průměrné množství párů částí čekajících na opracování operátorem (ks) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,850 | 99,00 | 7409,300 | 320,40 |
| 1 | 3,986 | 99,00 | 7409,316 | 161,55 |
| 1 | 5,110 | 99,00 | 7410,910 | 4,71 |
| 2 | 2,850 | 89,00 | 4112,570 | 0,53 |

### 4.3.6 Dokumentace výsledků experimentu a reportování

Pro výběr jedné z výše zkoumaných možností, jsem porovnal dobu průchodu odvolávky procesem při původním a při novém uspořádání procesu. Původní uspořádání procesu zvládalo zpracovat zakázku za necelých 106 hodin a u nových variant, kde práci prováděl jeden operátor výroby, dosahovala délka zpracování odvolávky necelých 124 hodin. Poslední z variant, uvedených v tabulce č. 8, kdy budou práci provádět 2 operátoři výroby a čas cyklu bude 2,850 minut zvládne vyprodukovat 1440 ks hotových výrobků za 2 dny, 20 hodin a 34 minut, respektive za 68 hodin a 34 minut. Screenshot části modelu, na kterém lze vidět čas ukončení zpracování odvolávky můžeme vidět na obrázku č. 15.




**Obrázek č. 15: Ukončení výrobního procesu v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování)

Na základě srovnání možností z předchozí kapitoly jsem se rozhodl zvolit právě tuto, poslední variantu, a to zejména kvůli tomu, že dle výsledků simulace, bude celá odvolávka vyrobena již třetí den od začátku výroby.

V praxi bude nutné jasně rozdělit oběma pracovníkům činnosti, které mají být provedeny. V dalším kroku mého návrhu byly tedy činností mezi dva pracovníky v simulačním modelu procesu přesně rozděleny. Poté jsem opět provedl simulaci procesu a provedl jsem export dat ze statistik programu Witness Horizon 22. V následujícím tabulce č. 9 lze vidět vytížení jednotlivých pracovníků i robotického pracoviště. Můžeme si všimnout, že robotické pracoviště je vytíženo skoro na maximum a vytížení pracovníků dosahuje hodnot, které se pohybují okolo 90 %. Díky tomu, že není plánováno, aby byli operátoři vytíženi na 100 % budou schopni provést potřebné činnosti i v případě, kdy dojde k neočekávanému zdržení. Tím může být například nesprávně založený kovový klip, kvůli kterému nelze spustit chod svářečky, případně nutnost demontáže komponent z neshodného výrobku.

**Tabulka č. 9: Vytížení pracovníků navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Pracovník | Zaměstnaný (%) | Nezaměstnaný (%) |
|---|---|---|
| Operator1 | 91,69 | 8,31 |
| Operator2 | 88,25 | 11,75 |
| Robot | 98,34 | 1,66 |

V tabulce č. 10 jsou uvedena data související s některými součástmi, které se v modelu navrhované podoby procesu vyskytují. Při porovnání údajů v tabulkách č. 10 na straně 75 a č. 3 na straně 63 si lze povšimnout například snížení množství rozpracovaných výrobků XYZ001nedok a XYZ002nedok vlivem přesunu procesu na jedno pracoviště. V původním modelu se takto označené součást hromadili na konci 1. fáze procesu. Stále můžeme vidět větší počet částí XYZ001_final a XYZ002_final. Ty jsou hromaděny před konečným odvozem výrobků z pracoviště č. 08. V poslední tabulce č. 11 na následující straně této kapitoly, lze vidět statistiky některých pracovišť v navrhované podobě procesu.

**Tabulka č. 10: Statistika součástí navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Název součásti | Průměrné rozpracované množství (ks) | Průměrný čas, strávený v procesu (min) |
|---|---|---|
| XYZ001nedok | 0,69 | 1,96 |
| XYZ002nedok | 0,85 | 2,42 |
| XYZ001komplet | 2,13 | 6,08 |
| XYZ002komplet | 1,90 | 5,42 |
| XYZ001_final | 23,75 | 67,85 |
| XYZ002_final | 24,10 | 68,85 |

**Tabulka č. 11: Vytížení jednotlivých pracovišť navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22)

| Název pracoviště/činnosti | Činnost (%) | Nečinnost (%) | Blokováno (%) | Čekání na pracovníka (%) |
|---|---|---|---|---|
| Odstraneni_pretoku_robot | 30,10 | 69,90 | 0,00 | 0,00 |
| Orez_dilu_robotem | 68,24 | 17,76 | 14,00 | 0,00 |
| KontrolaXYZ001nedok | 22,75 | 77,25 | 0,00 | 0,00 |
| KontrolaXYZ002nedok | 22,75 | 61,50 | 0,00 | 15,75 |
| Osazeni_ramecku_a_peny_1 | 23,10 | 54,15 | 0,00 | 22,75 |
| Osazeni_ramecku_a_peny_2 | 23,10 | 53,80 | 0,00 | 23,10 |
| Vymena_dilu_a_klipy | 47,25 | 49,71 | 0,00 | 3,04 |
| Svareni | 63,69 | 36,31 | 0,00 | 0,00 |
| Kontrola | 39,55 | 24,43 | 0,00 | 36,02 |

### 4.3.7 Implementace

Na základě předešlých fází simulačního projektu, jsem dospěl k rozhodnutí, jaká bude konečná podoba nově navrhovaného procesu. Dospěl jsem především k rozhodnutí, které se týkalo počtu pracovníků, s kterým souvisí také čas cyklu, ve kterém bude navrhovaný proces probíhat. Rozmístění pracoviště, včetně označení pohybu jednotlivých pracovníků lze vidět na obrázku č. 13 na straně 68 a můžeme z něj vyčíst také rozdělení činností konkrétnímu pracovníkovi. Toto rozdělení je také součástí časového snímku procesu v příloze č. 2 mé práce.

V kapitole 4.2.2 jsem uvedl tabulku č. 5, ve které je přehled stávajícího zařízení pracoviště 08 a také zařízení potřebného pro navrhovaný průběh procesu. Pomocí Ganttova diagramu, který je možné nalézt jako přílohu č. 3 mé bakalářské práce, jsem určil časový horizont, během kterého by mohlo dojít k přechodu z původní na novou podobu procesu. Trvání jednotlivých etap implementace jsem odhadl na základě informací, poskytnutých zaměstnanci společnosti PEPOVO s.r.o., kteří mají s podobnými projekty zkušenosti.

## 4.4 Zhodnocení návrhu

### 4.4.1 Zhodnocení míry optimalizace

Svým návrhem na zlepšení průběhu výrobního procesu jsem dosáhl zkrácení času cyklu, ve kterém bude výroba probíhat. Tohoto zlepšení bylo možno dosáhnout především díky robotizaci některých úkonů, které jsou během tohoto procesu prováděny. Zároveň se mi, díky přesunutí obou fází výrobního postupu na jedno pracoviště, podařilo odstranit činnosti převozu, zaskladňování a vyskladňování, která hotovému výrobku, potažmo koncovému zákazníkovi nepřináší žádnou hodnotu. Přehled činností a časů cyklu v současné a navrhované podobě procesu jsem shrnul do následujících, zjednodušených časových snímků.

**Tabulka č. 12: Zjednodušený časový snímek současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

| Krok č. | Popis kroku | Kategorie | Čas (sekundy) |
|---|---|---|---|
| 1 | Odebrání vyfouknutého dílu s přetoky | ENVA | 5,03 |
| 2 | Odstranění přetoků | VA | 181,78 |
| 3 | Ořezání dílu robotem | VA | 116,75 |
| 4 | Vizuální kontrola ořezu dílů a děr na díle XYZ001 | ENVA | 118,69 |
| 5 | Balení dle balícího předpisu | NVA | 37,19 |
| 6 | Přeprava (+ Zaskladnění) | NVA | 3,28 |
| 7 | (Vyskladnění +) Přeprava | NVA | 3,28 |
| 8 | Vizuální kontrola děr na díle XYZ001 | ENVA | 13,32 |
| 9 | Osazení pěnové výplně do otvoru dílu | VA | 79,73 |
| 10 | Osazení rámečku na otvor dílu | VA | |
| 11 | Založení kovových klipů do matrice ve svářečce | VA | 80,77 |
| 12 | Výměna dílů v přípravku ve svářečce | VA | |
| 13 | Ultrazvukové svařování plastových dílů a nasazení klipů | VA | 108,96 |
| 14 | Vizuální kontrola provedení svárů a nasazení klipů | ENVA | 36,67 |
| 15 | Balení dle balícího předpisu | NVA | 41,42 |
| **Pozn.:** | T = čas | T procesu | 826,87 |
| **Kroky č. 6 a 7 jsou prováděny s celými 2 paletami (96 ks) v délce trvání 540 s. Proto jsem tuto hodnotu v časovém snímku podělil počtem ks na jedné paletě.** | | T práce strojů | 225,71 |
| | | T 1. operátor | 186,81 |
| | | T 2. operátor | 155,88 |
| | | T 3. operátor | 251,91 |
| | | T VA/T procesu | 69 % |
| | CT = Čas cyklu | CT pracoviště č. 01 | 194,58 |
| | | CT pracoviště č. 06 | 251,91 |

**Tabulka č. 13: Zjednodušený časový snímek navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

| Krok č. | Popis kroku | Kategorie | Čas (sekundy) |
|---|---|---|---|
| 1 | Odebrání vyfouknutého dílu s přetoky robotem | ENVA | 12,97 |
| 2 | Odstranění přetoků robotem | VA | 38,92 |
| 3 | Ořezání dílu robotem + doprava po pásovém dopravníku | VA | 116,75 |
| 4 | Vizuální kontrola ořezu dílů a děr na díle XYZ001 | ENVA | 77,83 |
| 5 | Osazení pěnové výplně do otvoru dílu | VA | 79,73 |
| 6 | Osazení rámečku na otvor dílu | VA | |
| 7 | Založení kovových klipů do matrice ve svářečce | VA | 80,77 |
| 8 | Výměna dílů v přípravku ve svářečce | VA | |
| 9 | Ultrazvukové svařování plastových dílů a nasazení klipů | VA | 108,96 |
| 10 | Vizuální kontrola provedení svárů a nasazení klipů | ENVA | 36,67 |
| 11 | Balení dle balícího předpisu | NVA | 31,13 |
| 12 | Expedice | NVA | 3,13 |
| **Pozn.:** | T = čas | T procesu | 586,85 |
| **Krok č. 12 je prováděn s celými paletami (48, respektive 96 ks) v délce trvání 180 s. Proto jsem tuto hodnotu v časovém snímku podělil počtem ks na jedné paletě.** | | T práce strojů | 277,60 |
| | | T 1. operátor | 157,56 |
| | | T 2. operátor | 148,57 |
| | | T VA/T procesu | 72 % |
| | CT = Čas cyklu | CT pracoviště č. 08 | 171,23 |

Po porovnání obou časových snímků si můžeme všimnout, že došlo k redukci činností, která výrobku nepřidávají hodnotu. Funkcí, označovaných jako NVA (nehodnototvorné činnosti, anglicky: *Non-Value-Adding*) a ENVA (činnosti nezbytné pro průběh procesu, které však nepřidávají hodnotu pro koncového zákazníka, anglicky: *Essential-Non-Value-Adding*) se v původním podobě procesu vyskytovalo 8. Nyní je jich pouze 5 a došlo tak i k výrazným časovým úsporám. Dále si můžeme všimnout, že došlo i k navýšení času, kdy je práce prováděna strojním zařízením, a to především díky robotizaci úkonu odstranění přetoků, který byl tímto také urychlen. Díky sloučení fází na jedno pracoviště nám také odpadli úkony spojené s manipulací a kontrolou rozpracovaných výrobků. Na časovém snímku původního procesu se tak nachází dva časy cyklů, zatímco na časovém snímku pouze jeden, který je o 23 sekund nižší než čas cyklu z první fáze původního procesu.

### 4.4.2 Ekonomické zhodnocení navrhovaných změn

Zavedením nové podoby procesu získáme výrazné časové úspory, jelikož celá odvolávka bude zpracována již za 68 hodin a 34 minut. Zatímco dříve se na tomto výrobním procesu podíleli tři pracovníci, nově bude zapotřebí pouze dvou. Se zkrácením času průchodu odvolávky podnikem a snížením počtu pracovníků bude spojena také výrazná úspora nákladů na přímé mzdy. Základem výpočtu je hodinová sazba operátora výroby ve výši 150 Kč/hod. Pro původní podobu procesu bylo pro tento výpočet nutno stanovit, jakou

dobu je zde přítomna obsluha. První výrobky do druhé fáze procesu přichází až po 2 hodinách a 46 minutách. Poslední výrobky projdou druhou fází po 105 hodinách a 33 minutách. Doba, během které je nutno obsloužit pracoviště 06, je tedy 102 hodin a 47 minut, což se rovná 102,78 hodin. K vyčíslení nákladů se nabízí použití statistiky nákladů z programu Witness Horizon 22. V realitě pracovníkům platíme i za čas, kdy jsou na pracovišti, ale nejsou zcela vytíženi, a proto bych musel v rámci statistik současného stavu procesu nastavit načítání nákladů i za tento čas. Problémem s tímto spojeným je nečinnost pracovníků Operator1 a Operator2 po dokončení 1. fáze procesu. Tato data by mohla být exportována již po dokončení první fáze a problém by byl vyřešen, avšak rovněž Operator3 je nečinný do doby, než začne zpracování prvních výrobků v rámci 2. fáze. Proto jsem se rozhodl statistiky z programu nepoužít a přistoupil jsem k vlastnímu výpočtu. Přehled nákladů na přímé mzdy před a po zavedení změn se nachází v následující tabulce č. 14.

**Tabulka č. 14: Porovnání mzdových nákladů současné a navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

| Stav | Pracoviště č. | Doba obsluhy (hod) | Počet pracovníků | Hodinová sazba (Kč/hod) | Náklady celkem | Náklady/ks |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Současný** | 01 | 77,87 | 2 | 150 | 38 778,00 Kč | 26,93 Kč |
| | 06 | 102,78 | 1 | 150 | | |
| **Navrhovaný** | 08 | 68,57 | 2 | 150 | 20 571,00 Kč | 14,29 Kč |

Vlivem navrhovaných změn, budeme schopni dosáhnout úspory ve výši 12,64 Kč na každém páru výrobků. Při průměrné velikosti odvolávky 1440 ks každého výrobku tedy ušetříme na dané odvolávce až 18 207 Kč. Plánované změny si budou vyžadovat finanční investici, spojenou s pořízením nového vybavení pracoviště a robotizací některých činností procesu. Na základě informací od zaměstnanců společnosti PEPOVO s.r.o., kteří mi sdělili, v jaké výšce se investice do podobných projektů pohybují, odhaduji nutnost investice v maximální výši 250 000,- Kč. Za předpokladu, že vlivem optimalizace nebude požadováno snížení prodejní ceny výrobků ze strany zákazníka, dojde k navrácení celé výše investice po vyrobení 14 odvolávek o průměrném objemu 1440 ks.

# ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval optimalizací výrobního procesu za použití prediktivní simulace. Cílem mé práce bylo vytvořit návrh, který povede ke zlepšení výrobního procesu. Hlavním cílem mého návrhu bylo zkrácení času cyklu, díky kterému byl snížen také čas průchodu dané zakázky výrobním procesem. Při řešení problému, kterými jsem se zabýval, jsem využil vytvoření digitálních dvojčat, díky kterým jsem mohl nasimulovat současný i navrhovaný stav procesu.

V teoretické části jsem rozebral jednotlivé prvky procesního prostředí, metodiky, používané při optimalizaci produkčních procesů a metodiku simulačního projektu, ze které jsem poté vycházel v návrhové části své práce.

Analytická část práce byla zaměřena na představení podniku, se který jsem při tvorbě práce spolupracoval a na popis procesů, se kterými se zde můžeme setkat. Podstatný zde byl podrobný popis výrobního procesu, který jsem analyzoval. Byl popsán výrobní postup i rozmístění pracovišť a rozdělení činností mezi jednotlivé pracovníky. Při tvorbě této části jsem vytvořil časový snímek procesu, který lze vidět v části následující, kde jej srovnávám s časovým snímkem navrhované podoby procesu. Díky rozdělení činností dle toho, zda přidávají hodnotu jsem nalezl úzká místa procesu, na které jsem se později zaměřil v části návrhové.

Jak už jsem zmínil, tvorba této části byla založena na znalostech metodiky simulačního projektu, kterou jsem zpracoval do části teoretické. Nejprve bylo na základě popisu současného procesu vytvořeno digitální dvojče této varianty procesu, z kterého jsem získal potřebná data, jež lze vidět v tabulkách, které v této kapitole uvádím. Po návrhu nového průběhu procesu i změně prostorového uspořádání, jsem mohl vytvořit i digitální dvojče navrhované podoby procesu a z něj opět získat údaje. Na základě porovnání údajů ze současného a navrhovaného stavu lze vidět, že aplikací navrhovaných řešení lze dosáhnout značné časové úspory. Navržená podoba počítá se zkrácením času cyklu, kterého bylo dosaženo také díky robotizaci některých úkonů. Časová úspora bude znamenat také úsporu osobních nákladů, vynaložených na pracovníky, kteří se na zpracování výrobků podílejí.

# SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů. Praha: Grada, 2011, 223 s. : il., grafy, tab. ISBN 978-80-247-3938-0.

2. JUROVÁ, Marie. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: Grada Publishing, 2016, 254 stran : ilustrace, portréty. ISBN 978-80-247-5717-9.

3. HEŘMAN, Jan a Olga HOROVÁ. Průmyslové technologie pro ekonomy. Praha: Oeconomica, 2013, 259 s. : il., grafy, tab. ISBN 978-80-245-1907-4.

4. TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Řízení výroby. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2000, 408 s. : obr., grafy, tab. ISBN 80-7169-955-1.

5. TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci. Praha: Grada, 2014, 366 s. : il., grafy, tab. ISBN 978-80-247-4486-5.

6. ŘEPA, Václav. Podnikové procesy: procesní řízení a modelování. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 281 s. : il. ISBN 978-80-247-2252-8.

7. Industry 4.0 | Lanner. Predictive Simulation Software & Modeling Services | Lanner [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.lanner.com/en-us/solutions/powering-smart-business-with-predictive-digital-twins.html

8. Digitální dvojče - Digital twins - Dynamic Future. DYNAMIC FUTURE - dynamická simulace pro strategické rozhodování [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: http://dynfut.cz/digitalni-dvojce-digital-twins/

9. VARJAN, Matúš. Využití simulačního modelování v technologickém projektování. In: ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE [online]. Brno, 2012 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/ht1_technologicke_projektovani_vyuziti_simulacniho_modelovani_varjan.pdf

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

11. Interní materiály společnosti PEPOVO s.r.o.

12. BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. 2015 [cit. 2020-05-04]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: https://publi.cz/books/180/08.html

13. Předmět_2331507_č_8_2016-04-05: Přednáška Č. 8 - Další technologie zpracování plastů: vyfukování, vakuové tvarování a recyklace. In: Úvodní strana » Ústav strojírenské technologie, ČVUT v Praze [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/116/Pednaska-c.-8-Dalsi-technologie-zpracovani-plastu.pdf

# SEZNAM OBRÁZKŮ

**Obrázek č. 1: Transformační proces** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 5, s. 26) ..... 15

**Obrázek č. 2: Cyklus DMAIC** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 1, s. 89) ..... 23

**Obrázek č. 3: Organizační struktura Lean Six Sigma iniciativ** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 1 s. 80) ..... 28

**Obrázek č. 4: Metodika simulačního projektu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 10, s. 15) ..... 33

**Obrázek č. 5: Organizační struktura společnosti PEPOVO s.r.o.** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11) ..... 39

**Obrázek č. 6: Procesní mapa společnosti PEPOVO s.r.o.** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11) ..... 42

**Obrázek č. 7: Layout pracoviště 01** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11) ..... 53

**Obrázek č. 8: Layout pracoviště 06** (Zdroj: Vlastní zpracování dle 11) ..... 56

**Obrázek č. 9: Screenshot modelu současné podoby procesu z programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 60

**Obrázek č. 10: Ukončení 1. fáze výrobního procesu v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 61

**Obrázek č. 11: Hromadění rozpracované výroby v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 62

**Obrázek č. 12: Ukončení 2. fáze výrobního procesu v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 62

**Obrázek č. 13: Layout pracoviště 08** (Zdroj: vlastní zpracování) ..... 68

**Obrázek č. 14: Screenshot modelu navrhované podoby procesu z programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 70

**Obrázek č. 15: Ukončení výrobního procesu v simulačním modelu v programu Witness Horizon 22** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 73

# SEZNAM TABULEK

**Tabulka č. 1: Výhody a nevýhody simulace diskrétních událostí** (Zdroj: Vlastní zpracování dle: 9, s. 7) ..... 32

**Tabulka č. 2: Vytížení pracovníků současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 63

**Tabulka č. 3: Statistika součástí současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 63

**Tabulka č. 4: Vytížení jednotlivých pracovišť současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 64

**Tabulka č. 5: Vybavení pracoviště pro navrhovaný průběh procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 67

**Tabulka č. 6: Přehled variabilních údajů elementů modelu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 71

**Tabulka č. 7: Srovnání vybraných výsledků po provedení experimentu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 72

**Tabulka č. 8: Srovnání výsledků vybraných variant procesu po provedení simulace** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 73

**Tabulka č. 9: Vytížení pracovníků navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 74

**Tabulka č. 10: Statistika součástí navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 75

**Tabulka č. 11: Vytížení jednotlivých pracovišť navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování dle výsledků z Witness Horizon 22) ..... 75

**Tabulka č. 12: Zjednodušený časový snímek současné podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 77

**Tabulka č. 13: Zjednodušený časový snímek navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 78

**Tabulka č. 14: Porovnání mzdových nákladů současné a navrhované podoby procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... 79

# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

IS – Informační systém

ERP – Plánování podnikových zdrojů (anglicky: Enterprise resource planning)

MES – Systém pro řízení výroby (anglicky: Manufacturing execution system)

CMMS – Systém pro řízení údržby (anglicky: Computerized maintenance management system)

FIFO – Systém řízení zásob způsobem „první dovnitř, první ven“ (anglicky: First in, first out)

VDA – Systém řízení jakosti dle německých oborových norem pro automobilový průmysl

CMR – Standartní nákladní list používaný v mezinárodní autodopravě

HR – Lidské zdroje (anglicky: Human resources)

BOZP – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

# SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha č. 1: Časový snímek současné podoby výrobního procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... I

**Příloha č. 2: Časový snímek navrhované podoby výrobního procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... II

**Příloha č. 3: Ganttův diagram s časovým plánem implementace navrhovaných změn** (Zdroj: Vlastní zpracování) ..... III

**Příloha č. 1: Časový snímek současné podoby výrobního procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

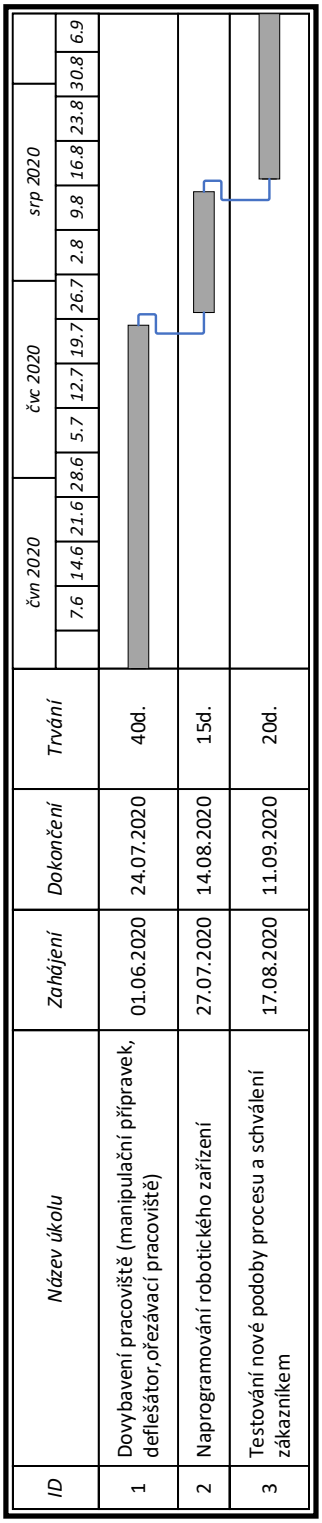
| Krok č. | Popis kroku | Čas (sekundy) | Operace | Transport | Kontrola | Zpoždění | Uskladnění | Pracovník | Kategorie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Odebrání vyfouknutého dílu s přetoky | 5,03 | x | | | | | 1 | ENVA |
| 2 | Odstranění přetoků | 181,78 | x | | | | | 1 | VA |
| 3 | Ořezání dílu robotem | 116,75 | x | | | | | ROBOT | VA |
| 4 | Vizuální kontrola ořezu dílů a děr na díle XYZ001 | 118,69 | | | x | | | 2 | ENVA |
| 5 | Balení dle balícího předpisu | 37,19 | x | | | | | 2 | NVA |
| 6 | Přeprava (+ Zaskladnění) | 3,28 | | x | | | | MANIPULANT | NVA |
| 7 | (Vyskladnění+) Přeprava | 3,28 | | x | | | | MANIPULANT | NVA |
| 8 | Vizuální kontrola děr na díle XYZ001 | 13,32 | | | x | | | 3 | ENVA |
| 9 | Osazení pěnové výplně do otvoru dílu | 79,73 | x | | | | | 3 | VA |
| 10 | Osazení rámečku na otvor dílu | | x | | | | | | VA |
| 11 | Založení kovových klipů do matrice ve svářečce | 80,77 | x | | | | | 3 | VA |
| 12 | Výměna dílů v přípravku ve svářečce | | x | | | | | | VA |
| 13 | Ultrazvukové svařování plastových dílů a nasazení klipů | 108,96 | x | | | | | SVÁŘEČKA | VA |
| 14 | Vizuální kontrola provedení svárů a nasazení klipů | 36,67 | | | x | | | 3 | ENVA |
| 15 | Balení dle balícího předpisu | 41,42 | x | | | | | 3 | NVA |
| | Součet: | | 10 | 2 | 3 | 0 | 0 | | |
| | T celkem: | 651,63 | 6,5625 | | 168,68 | 0 | 0 | | |
| | Celkem VA | 7 | T = čas | | T procesu | 826,87 | Sekundy | | |
| | VA Čas | 567,99 | Sekundy | | T práce strojů | 225,71 | Sekundy | | |
| | Celkem NVA | 4 | | | T 1. operátor | 186,81 | Sekundy | | |
| | NVA Čas | 85,17 | Sekundy | | T 2. operátor | 155,88 | Sekundy | | |
| | Celkem ENVA | 4 | | | T 3. operátor | 251,91 | Sekundy | | |
| | ENVA Čas | 173,71 | Sekundy | | T VA/T procesu | 69% | | | |
| | | | CT = čas cyklu | | CT pracoviště č. 01 | 194,00 | Sekundy | | |
| | | | | | CT pracoviště č. 06 | 252,00 | Sekundy | | |

**Pozn.:**
**Kroky č. 6 a 7 jsou prováděny s celými 2 paletami (96 ks) v délce trvání 540 s. Proto jsem tuto hodnotu v časovém snímku podělil počtem ks na jedné paletě.**

**Příloha č. 2: Časový snímek navrhované podoby výrobního procesu** (Zdroj: Vlastní zpracování)

| Krok č. | Popis kroku | Čas (sekundy) | Operace | Transport | Kontrola | Zpoždění | Uskladnění | Pracovník | Kategorie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Odebrání vyfouknutého dílu s přetoky robotem | 12,97 | | x | | | | ROBOT | ENVA |
| 2 | Odstranění přetoků robotem | 38,92 | x | | | | | ROBOT | VA |
| 3 | Ořezání dílu robotem + doprava po pásovém dopravníku | 116,75 | x | | | | | ROBOT | VA |
| 4 | Vizuální kontrola ořezu dílů a děr na díle XYZ001 | 77,83 | | | x | | | 1 | ENVA |
| 5 | Osazení pěnové výplně do otvoru dílu | 79,73 | x | | | | | 1 | VA |
| 6 | Osazení rámečku na otvor dílu | | x | | | | | 1 | VA |
| 7 | Založení kovových klipů do matrice ve svářečce | 80,77 | x | | | | | 2 | VA |
| 8 | Výměna dílů v přípravku ve svářečce | | x | | | | | 2 | VA |
| 9 | Ultrazvukové svařování plastových dílů a nasazení klipů | 108,96 | x | | | | | SVÁŘEČKA | VA |
| 10 | Vizuální kontrola provedení svárů a nasazení klipů | 36,67 | | | x | | | 2 | ENVA |
| 11 | Balení dle balícího předpisu | 31,13 | x | | | | | 2 | NVA |
| 12 | Expedice | 3,13 | | x | | | | MANIPULANT | NVA |
| | | Součet: | 8 | 2 | 2 | 0 | 0 | | |
| | | T celkem: | 456,26 | 12,97175 | 114,50 | 0 | 0 | | |
| | | Celkem VA | 7 | T = čas | T procesu | 586,85 | Sekundy | | |
| | | VA Čas | 425,13 | Sekundy | T práce strojů | 277,60 | Sekundy | | |
| | | Celkem NVA | 2 | | T 1. operátor | 157,56 | Sekundy | | |
| | | NVA Čas | 31,13 | Sekundy | T 2. operátor | 148,57 | | | |
| | | Celkem ENVA | 3 | | T VA/T procesu | 72% | | | |
| | | ENVA Čas | 127,47 | Sekundy | CT pracoviště 08 | 171,23 | Sekundy | | |

CT = čas cyklu

**Pozn.:**
**Krok č. 12 je prováděn s celými paletami (48, respektive 96 ks) v délce trvání 180 s. Proto jsem tuto hodnotu v časovém snímku podělil počtem ks na jedné paletě.**

**Příloha č. 3: Ganttův diagram s časovým plánem implementace navrhovaných změn** (Zdroj: Vlastní zpracování)