

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



DIPLOMOVÁ PRÁCE

OPTIMALIZACE TAKTU SVAŘOVNY V SÉRIOVÉ VÝROBĚ

OPTIMIZATION OF WELDING TAKT IN SERIAL PRODUCTION

AUTOR: Bc. Michaela Lhotová

STUDIJNÍ PROGRAM: Strojní inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: Řízení a ekonomika podniku

VEDOUCÍ PRÁCE: prof. Ing. František Freiberg, CSc.

KONZULTANT PRÁCE: Ing. Václav Michalec

PRAHA 2021

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lhotová** Jméno: **Michaela** Osobní číslo: **467407**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení a ekonomika podniku**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Optimalizace taktu svařovny v sériové výrobě**

Název diplomové práce anglicky:

**Optimization of Welding Takt in Serial Production**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Úvod – zdůvodnění zadání a stanovení cílů diplomové práce.
- 2) Teoretická část – charakteristika řízení výroby, řízení výrobního procesu v různých typech výroby, výrobních operací se zaměřením na svařování, štihlé výroby a způsobů měření spotřeby času.
- 3) Analytická část – zanalýzování pracovního prostředí a aktuálního výrobního procesu, vyhodnocení naměřených dat týkající se taktů jednotlivých výrobních operací.
- 4) Návrhová část – využití znalostí nabytých studiem a výstupů z analytické části pro navržení možností optimalizace výrobních taktů vedoucí ke zvýšení efektivity procesu v daném pracovním prostředí
- 5) Závěr – zhodnocení splnění stanovených cílů, shrnutí diplomové práce.

Seznam doporučené literatury:

1. KAVAN, Michal. Projektový management inovací. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03601-3.
2. VÁCHAL, Jan a Marek VOCHOZKA. Podnikové řízení. Praha: Grada, 2013. Finanční řízení. ISBN 978-80-247-4642-5.
3. KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. Štihlý a inovativní podnik. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 8086851389.
4. SVOZILOVÁ, Alena. Zlepšování podnikových procesů. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**prof. Ing. František Freiberg, CSc., ústav řízení a ekonomiky podniku FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

**Ing. Václav Michalec, ústav řízení a ekonomiky podniku FS**

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021** Termín odevzdání diplomové práce: **23.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2022**

prof. Ing. František Freiberg, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne: .....

Podpis: .....

## Anotace

Diplomová práce se zabývá optimalizací a analýzou výrobního procesu v automobilovém průmyslu. Předmětem analýzy jsou především takty jednotlivých stanic, jejichž rozbor vede k navržení vhodného řešení vedoucí ke snížení taktu stanic potažmo celého střediska a navýšení maximální možné kapacity.

K úspěšnému analyzování výrobního procesu a definování příčin problému jsou využívány metody a postupy metodologie Lean Six Sigma. Závěrem této práce je zhodnocení navrhované investice pomocí ekonomických ukazatelů.

Přínosem práce je vytvořený návrh rozšíření pracoviště, který bude možné realizovat v praxi.

## Klíčová slova

Optimalizace, štíhlá výroba, výrobní proces, úzké místo, plýtvání, takt, investice

# Annotation

The diploma thesis deals with the optimization and analysis of the production process in the automotive industry. The subject of the analysis is primarily the takts of individual stations, the analysis of takts leads to the proposal of a solution which reduces the takt of mentioned stations and increases capacity, thus improving the entire manufactory.

The methods and procedures of the Lean and Six Sigma techniques are used to dissect the production process and find out the root cause of possible problems. The conclusion of the thesis is the evaluation of the proposed investment by means of economic indicators.

The benefit of this thesis is a proposal on how to expand the workplace which will be possible to implement in practice.

## Keywords

Optimization, Lean Production, Lean, Productive Process, Critical Place, Waste, Takt, Investment

## Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu této diplomové práce panu prof. Ing. Františku Freibergovi, CSc. a panu Ing. Václavu Michalcovi, za cenné poznámky a odborné rady, které přispěly k vypracování práce. Mé poděkování patří též panu Lukáši Padisákovi za jeho věcné připomínky, čas a nikdy nekončící laskavost. Nakonec bych ráda poděkovala celé mé rodině a Honzovi za podporu, kterou mi během celého studia poskytovali, za vytváření vhodných podmínek a poskytování opory a náruče vždy, když jsem myslela, že to vzdám.

## Obsah

ÚVOD .....	10
TEORETICKÁ ČÁST .....	11
1 Základní pojmy v oblasti výroby .....	11
1.1 Výroba .....	11
1.2 Výrobní proces .....	13
2 Štíhlá výroba/Lean .....	15
3 Lean Six Sigma .....	16
3.1 Cyklus DMAIC .....	16
3.1.1 Fáze definování .....	17
3.1.2 Fáze měření .....	18
3.1.3 Fáze analyzování .....	20
3.1.4 Fáze zlepšování .....	21
3.1.5 Fáze kontrolování .....	21
4 Plýtvání .....	22
4.1 Plýtvání ve výrobních procesech .....	23
4.1.1 Nadprodukce .....	23
4.1.2 Nadbytečné zásoby .....	24
4.1.3 Defekty = Nekvalita .....	24
4.1.4 Zbytečné pohyby .....	24
4.1.5 Špatné zpracování (overprocessing) .....	25
4.1.6 Čekání (prostoje) .....	26
4.1.7 Transport .....	26
4.1.8 Intelekt .....	26
5 Kaizen .....	27

5.1	Metoda 5S.....	27
5.1.1	1. krok: Seiri – Utřídit.....	28
5.1.2	2. krok: Seiton – Uspořádat.....	28
5.1.3	3. krok: Seiso – Udržovat pořádek .....	29
5.1.4	4. krok: Seiketsu – Určit pravidla .....	29
5.1.5	5. krok: Shitsuke – Upevňovat a zlepšovat .....	30
6	Definice takt time, cycle time, waiting time a process time .....	30
	ANALYTICKÁ ČÁST .....	32
7	Historie automobilového průmyslu .....	32
8	Fáze definování.....	34
8.1	Informace o pracovním prostředí.....	34
8.2	Výrobní technologie .....	35
8.3	Proces výroby.....	39
8.4	Definování cíle .....	44
9	Fáze měření.....	45
9.1	Stanovení taktů ve svařovně.....	45
9.2	Metody měření spotřeby času .....	47
10	Fáze analyzování.....	48
10.1	Bližší zaměření .....	48
10.2	Práce s daty .....	50
10.3	Analýza .....	51
10.4	Závěr části analyzování.....	62
	NÁVRHOVÁ ČÁST.....	63
11	Fáze zlepšování.....	64
11.1	Stanice 3015 .....	69



11.2	Stanice 3025 .....	71
11.3	Stanice 3035 .....	74
11.4	Ostatní položky .....	76
11.5	Hodnocení investice .....	76
11.5.1	Čistá současná hodnota.....	81
11.5.2	Dynamická doba návratnosti .....	84
11.5.3	Vnitřní výnosové procento .....	85
11.5.4	Index výnosnosti .....	86
11.5.5	Zhodnocení přijetí investice .....	87
11.5.6	Analýza rizik.....	88
12	Fáze kontrolování .....	91
	ZÁVĚR .....	92
	Citovaná literatura .....	93
	Seznam obrázků .....	96
	Seznam grafů .....	96
	Seznam tabulek.....	97
	Seznam příloh .....	97
	Přílohy .....	98

## ÚVOD

Tématem diplomové práce je optimalizace taktů aplikovaná v sériové výrobě, neboť propojení technické oblasti s oblastí ekonomickou jdou ruku v ruce s dnešní uspěchanou dobou, kdy snižování nákladů ve výrobním procesu se považuje za klíčové.

Tato práce je především zaměřená na poznání určitého stádia výroby automobilů a na optimalizaci jeho procesů za účelem snižování výrobního času, které vede k redukci nákladů. Snižovat své náklady se snaží každý podnik, aby mohl nabídnout svým zákazníkům nižší cenu, a získal tak na trhu konkurenční výhodu. Můžeme toho docílit různými způsoby, jedním z nich je i snižování času potřebného pro výrobu či snižování prostojů, které se v této práci schovávají pod pojmy takt stanice a takt čekání.

Teoretická část se orientuje na přiblížení pojmů, které jsou s optimalizací výrobního procesu úzce spjaté, především na pojem štíhlá výroba.

Analytická část se zaměřuje na podrobnější porozumění výrobního procesu v reálném podniku, jež je důležité pro následné zanalyzování výrobního procesu a vyhodnocení úzkých míst procesu.

Návrhové části dominuje navržení nových výrobních pracovišť společně s ekonomickým zhodnocením této navrhované investice.

Cílem této diplomové práce je celkové porozumění výrobnímu procesu, jeho analýza a na základě nabytých znalostí a definování úzkých míst, navržení úsporných řešení, jež by zkrátila dobu, po kterou musí výrobek na svařovně setrvat, než bude zcela hotov.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Základní pojmy v oblasti výroby

### 1.1 Výroba

Za výrobu považujeme souhrn všech výrobních procesů, které se v podniku odehrávají. Cílem výroby je transformace výrobních faktorů na věcné výkony či služby. Jiné definice uvádějí, že se jedná o přeměnu vstupů na statky a služby. Definic je mnoho, ale všechny říkají, že výrobou je myšleno vše, co spotřebovává potřebný materiál, služby, lidskou práci, výrobní prostředky nebo energii za účelem vytvoření produktů, které budou uspokojovat potřeby zákazníka. Výroba je nepostradatelnou součástí hodnototvorného řetězce a za výrobní faktory považuje práci, půdu, kapitál a lidský kapitál. [1] [2] [3]

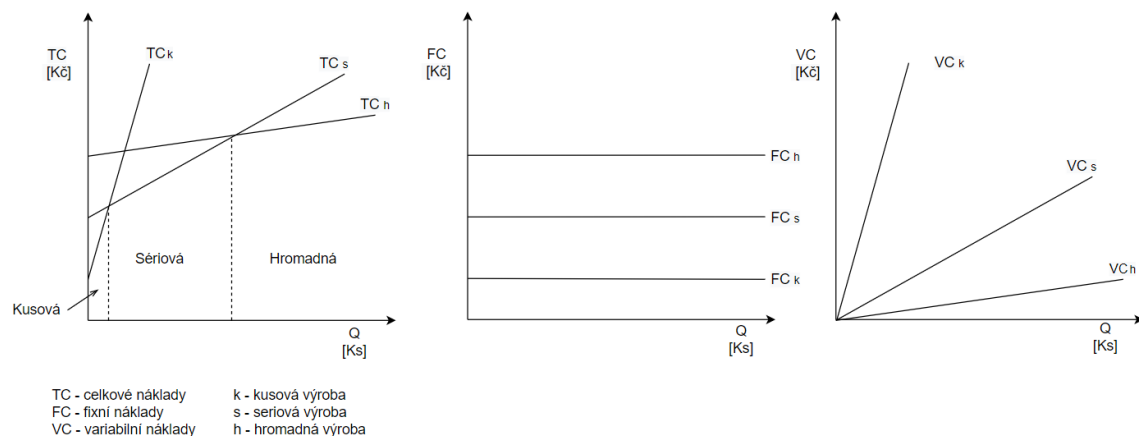
Výroba, soubor řízených činností, se ve výrobním procesu nachází mezi nákupem a odbytem. Co se týká samotného řízení výroby, jedná se o složitý proces, který má za úkol regulovat plánování, evidenci výroby, metody vlastního řízení výrobního procesu, metody řízení nákupu a zásob, controlling výroby a nákupu a v neposlední řadě má také obstarávat řízení změn. Jednotlivé činnosti v podniku probíhají soustavně, nikoli postupně, a je zde velká snaha o optimální chod všech výrobních systémů, které vedou ke splňování stanovených cílů podniku. Jednotlivé činnosti výroby se liší podle různých parametrů. Nejzásadnějším faktorem, jenž ovlivňuje zvolený postup řízení výroby, je bezpochyby její druh. V podniku můžeme mít buď výrobu hromadnou, sériovou nebo kusovou. Záleží, jak moc se výroba konkrétních produktů opakuje. [3] [4] [5]

Při kusové výrobě v podniku vzniká jen velmi malý počet produktů stejného druhu, které bývají zastoupeny hojným počtem variant. Tyto jednotlivé varianty mohou být výjimečně vytvářeny opakovaně nebo pouze na základě konkrétního přání zákazníka. [2] [4]

Dále se můžeme setkat s výrobou sériovou. Jedná se o nejčastější typ výroby praktikovaných ve firmách. V tomto případě se zhotovují stejné nebo nepatrně

odlišné produkty, jež jsou vyráběny za sebou v omezeném množství – v sérii. Jednotlivé série se mohou ve výrobním procesu opakovat. Výrobní postupy jsou zde jasně stanoveny standardy, aby výroba byla co nejefektivnější. Při výrobě se často používají speciální nástroje a zařízení. [2] [4]

Hromadná výroba je charakteristická velkým objemem výroby stejných nebo typově velice podobných produktů. Stejnost a uspořádanost tohoto výrobního procesu společně s vysokou úrovní organizace pracovních činností a vysokou úrovní technické přípravy umožňuje vyšší míru efektivity. Ve výrobě se praktikuje rozložení pracovních činností mezi více kvalifikovaných pracovníků s velkým důrazem na mechanizaci a robotizaci. Samozřejmostí je využití speciálních zařízení. [2] [4]



Obrázek 1: Struktura celkových nákladů v závislosti na objemu výroby (upraveno dle [4])

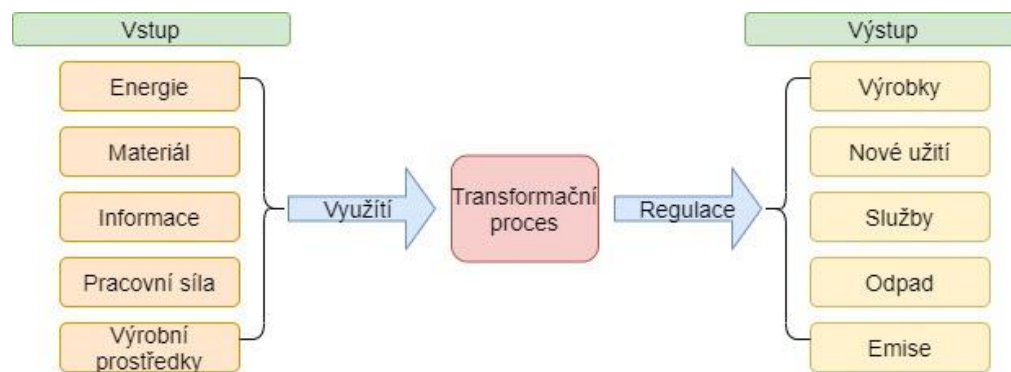
Obrázek 1 znázorňuje jednotlivé typy výroby a jejich závislost mezi celkovými náklady a vyráběným množstvím.

Celkové náklady se skládají z fixních a z variabilních nákladů. Jak znázorňují grafy na obrázku, fixní náklady nejsou ovlivněny velikostí výroby, naopak variabilní náklady se zvyšujícím se objemem výroby stoupají. Když se porovnají jednotlivé druhy výroby mezi sebou, vyplývá, že kusová výroba se charakterizuje nejnižšími fixními náklady a hromadná výroba naopak nejvyššími. Tento fakt je způsoben vysokými nároky na automatizaci a robotizaci, speciálními nástroji a potřebou

výrobních linek u hromadné výroby. Co se týká variabilních nákladů – u kusové výroby dochází se zvyšujícím se objemem výroby k prudkému nárůstu variabilních nákladů. Variabilní náklady u hromadné výroby s rostoucím objemem výroby stoupají pozvolna. Z toho vyplývá, že každý podnik si před zahájením plánování a řízení výroby musí jasně stanovit, kolik druhů produktů a v jakém objemu bude vyrábět, neboť se od zvoleného druhu výroby odvíjejí i výrobní náklady, které jsou v podniku nesmírně důležitým rozhodovacím elementem. [4]

## 1.2 Výrobní proces

Realizace samotné výroby se nazývá výrobní proces. Výrobní proces můžeme chápat jako produkt účelné lidské činnosti, kdy jsou při transformačním procesu použity potřebné vstupy. Na obrázku 2 je znázorněno jednoduché schéma transformačního procesu. Jak můžeme vidět, transformační proces v podniku mění vstupy na výstupy. [1] [6]



Obrázek 2: Obecné schéma transformačního procesu (zpracováno dle [6])

Transformační proces v podniku mění materiál na hmotné statky, mění své vlastnosti, podobu, v některých případech i chemické složení a dostává nové atributy. Transformační proces můžeme také nazývat výrobní systém. Daný výrobní proces se vždy vztahuje pouze k výrobě konkrétního produktu. Pokud vyrábíme odlišný nebo jiný produkt, jedná se o jiný výrobní proces, protože je u něj použito odlišných technologií, postupů, vstupních materiálů apod. Dokonce i vyčíslení

nákladů jednotlivých produktů se liší. Nesmíme ovšem zapomínat, že za výrobní proces je považována i jeho dílčí část, která probíhá v jiné zemi a následně se kompletuje jinde. V podniku se výrobní proces dělí dále na výrobní operace. [1] [4] [6]

Aby se skutečně jednalo o výrobní proces, musí být stanoveny určité podmínky. V první řadě musí dojít k určení produktů, jejich variant a vyráběného množství. Následně se musí determinovat technologie, na jakých se bude daný produkt vyrábět a určit uspořádání a organizaci výroby. V neposlední řadě je výrobní proces vymezen stálostí výroby a jeho schopností reagovat na zájem zákazníků o produkty. [4]

Jak je známo, produktem se myslí nejen výrobek, ale i služba. A tak není divu, že výrobní procesy najdeme i v podnicích zaměřující svou podnikatelskou činnost na poskytování služeb. [4]

Řízení výrobního procesu v podniku spočívá v neustálé regulaci, koordinaci a kontrole průběhu výroby. Podle plánování, které by mělo odrážet skutečnost, se provádějí kontroly výrobního procesu a dodržování stanovených termínů. V podnicích náročných na podnikovou strukturu či větších firmách má na starosti řízení výrobního procesu celý tým pracovníků neboli management. Pracovníci tohoto oddělení musejí při řízení výrobního procesu být ostražití a v případě jakýchkoli problémů pohotově reagovat na vzniklou situaci. Problém nemusí být hned veliká havárie či rozbitý stroj. I lidský faktor vnáší do výrobního procesu určitou odchylku, na jakou musí být management podniku připravený, a měl by s ní počítat již při plánování samotného procesu. Často dochází k odlaďování pracovních činností pracovníků či strojů ve zkušební fázi výrobního procesu. Řízení výroby by mělo spočívat především v řízení zajišťování výroby dle předem stanoveného plánu, porovnávání reálného výrobního procesu s předpokládaným procesem a hledání odchylek ve výrobním procesu všude, kde by mohly nepříznivě působit na efektivitu či kvalitu výroby. V neposlední řadě dochází i ke sběru dat řídicích informací pro potřeby upřesnění výrobního postupu, popřípadě cílů podniku. [5] [7]

## 2 Štíhlá výroba/Lean

Historie štíhlé výroby neboli Leanu se začala psát na počátku 50. let 20. století v japonské firmě Toyota. Jedná se o soubor dílčích zkušeností obohacené o nové metody. Než ale vznikl tento ucelený soubor, jednotlivé prvky se začaly objevovat již dříve, a to společně s průmyslovou výrobou, která začala nejprve ve firmách Toyota a Ford. [6] [8] [9]

Mezi hlavní představitele, kteří položili základní kameny štíhlé výroby, patří Henry Ford, Frederick Winslow Taylor nebo také manželé Gilbertovi. Všechny spojovala stejná myšlenka – vyrobit co nejvíce produktů v co nejkratším časovém intervalu. [6] [8] V duchu této myšlenky se zaměřovali na snížení celkové doby výroby produktu, a tím se samozřejmě snížily i výrobní náklady. Dále přišli na to, že velké množství zásob materiálu, nedokončené výroby a hotových výrobků váže příliš mnoho finančních prostředků. S tím souvisel i fakt, že nebylo nutné vlastnit opravdu velké výrobní a skladovací prostory. Značný důraz byl kladem i na kvalitu svých produktů, která jim společně s nižšími náklady na výrobu a potažmo nižší cenou zajišťovala určitou konkurenční výhodu. [1]

Později se z těchto prvotních myšlenek a činností vyvinula definice štíhlé výroby. Podniky používající štíhlou výrobu se snaží efektivněji a rychleji plnit přání svých zákazníků s co nejmenším množstvím disponibilních zdrojů. Účinně také odstraňují ze svého výrobního postupu takové činnosti, jež nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu produktu či samotnému zákazníkovi. Odstranění těchto činností způsobí snížení nákladů. [1] [6] Chybně by se tedy někdo mohl domnívat, že jde o samoučelné snižování nákladů. V první řadě jde o uspokojené potřeby a přání zákazníků. [10]

Ve zkratce by šlo říct, že se štíhlý podnik charakterizuje tak, že má vyšší prodeje za kratší časové období než jeho konkurence s menším obětováním úsilí. Jak je psáno v knize Štíhlý a inovativní podnik: *„Štíhlá výroba je paradigma a způsob myšlení o výrobě. Je to filozofie, která zkracuje průběžný čas eliminací plýtvání, aby byly včas dodávány výrobky vysoké kvality při nízkých nákladech.“* [10]

Nyní je Lean neboli štíhlá výroba považována jako jeden z nejlepších nástrojů na zlepšení všech procesů v podniku. Snaží se eliminovat z podnikového procesu zdroje plýtvání, které stojí podnik zbytečné finanční prostředky. Klade veliký důraz zejména na kvalitu vykonávání jednotlivých činností, protože i nepřesně zhotovený produkt či nesprávně vykonaná služba představuje odpadní produkt. [8]

### 3 Lean Six Sigma

Systém řízení procesů Lean Six Sigma, jak název sám napovídá, kombinuje dvě metody – Lean a Six Sigma. Kombinace těchto dvou metodologií umožňuje soustavně využívat všech výhod, které toto spojení přináší. Jak již v této práci zaznělo, metoda Lean se především zaměřuje na odstraňování činností, jež nemají žádnou přidanou hodnotu, a na snižování nákladů. Metoda Six Sigma se specializuje především na zvyšování kvality prostřednictvím dat. *„Hlavním přínosem obou metodologií sloučených do jediného komplexu je synergie vzniklá ze současného zaměření na výkonost procesu, spolu se stabilní kvalitou jejich výstupů, užitím standardních postupů a analytických nástrojů.“* [8]

Aplikace této metody v podnicích prokazatelně zvýšila kvalitu produktů a snížila náklady, avšak mnoho společností nemá možnosti provádět komplexně Lean Six Sigma z důvodu časové náročnosti a nedostatku znalostí v oboru. [8] [11]

#### 3.1 Cyklus DMAIC

Cyklus DMAIC je chápán jako jeden z modelů Lean Six Sigma vedoucí ke zlepšení procesu. Dochází při něm k identifikování problému a k jeho následnému odstranění. Zkratka této metodiky je složena ze slov Define-Measure-Analyze-Improve-Control, které věrohodně vystihují jednotlivé fáze tohoto cyklu. Každá etapa cyklu s sebou přináší charakteristické cíle a úkoly, jakými je lze dosáhnout. Obrázek 3 znázorňuje jednotlivé etapy a jejich vzájemnou návaznost. Zlepšování procesů je velice náročná a nikdy nekončící práce. [8] [12]





Obrázek 3: Cyklus DMAIC [13]

Nástroj DMAIC lze v podnicích implementovat dvěma způsoby. První způsob probíhá na standardní bázi, kdy se všichni členové týmu podílejí na všech etapách projektu, a navíc kromě této práce každý vykonává ještě své běžné pracovní povinnosti. Projekt obvykle trvá jeden až čtyři měsíce.

Druhý způsob implementace probíhá výrazně rychleji a intenzivněji. Jelikož je délka trvání projektu okolo týdne, členové týmu se v tomto čase soustředí pouze na plnění úkolů vedoucí ke zlepšení daného procesu. Na některých fázích nemusejí pracovat všichni členové týmu. Tento druh implementace se nazývá Kaizen DMAIC. [8] [12] „Rozvinul se při využití metod štíhlé výroby ve výrobním prostředí, ale od té doby se přizpůsobil širšímu rámci DMAIC“ [12]

Použití zrychleného postupu implementace má však svá pravidla. Neměl by se používat v případě nalezení rozsáhlých problémů či v případě identifikace velkého množství nalezených rizik. [8] [12]

### 3.1.1 Fáze definování

První fázi cyklu DMAIC představuje definování. Jedná se o přípravnou etapu celého procesu, důležitou, a proto je nutné ji pečlivě připravit. Předtím, než se začnou v podniku aplikovat různé nástroje vedoucí ke štíhlému podniku, musí dojít v první řadě k jasnému určení problémů, na jejichž základě dojde ke stanovení cílů, vymezení disponibilních finančních prostředků a sestavení projektového týmu. Projektový tým nejčastěji formuluje a ujasňuje tyto cíle

pomocí brainstormingu a analýzy CTx (Critical to x). Před jednoznačným stanovením cíle a specifikací problému musí dojít k verifikaci dostupných informací, aby se potvrdilo, že se daný problém v podniku skutečně vyskytuje a jeho odstranění přinese přínos zákazníkům i podniku. Členové týmu by si také měli ověřit, zda lze tento problém odstranit právě prostřednictvím Lean Six Sigma metodologie. Stejně tak musí dojít k ověření peněžních přínosů projektu. [8] [11] [12]

Meetingů, kde dochází ke splňování jednotlivých kroků této fáze, se účastní i sponzoři nebo jsou alespoň o výsledcích schůzek informováni. V případě optimalizace výrobního procesu bývá sponzorem samotný podnik. Během této fáze by mělo dojít k vytvoření časového harmonogramu trvání projektu. Jedině přesně a jednoznačně zvolený cíl a stanovený problém vede v krátkém časovém horizontu k jeho vyřešení. [8] [11] [12]

Pokud chce projektová skupina dosáhnout kvalitních výsledků, neměla by mezi jednotlivými členy týmu váznout komunikace. Nutností je proto stanovení prostředku ke sdílení informací. Dále je také důležité, aby jednotliví členové projektového týmu bezpečně znali současný stav procesu, neboť nabytí takovýchto znalostí je nezbytnou součástí pro zlepšení podnikových procesů. Z tohoto důvodu vytvářejí členové týmu procesní mapy, mapy hodnotových toků apod. [8] [11] [12]

Uzavření fáze „definování“ a následný přechod na další etapu musí být podložen kontrolním dnem, kdy dochází k postupnému přezkoumání splnění jednotlivých úkolů. [8] [11] [12]

### 3.1.2 Fáze měření

Druhou fází cyklu DMAIC představuje měření. Jak samotný název napovídá, v této části budeme shromažďovat měřená data. Než ale k samotnému měření dojde, musejí se provést nutná opatření.

Jeden z nutných kroků představuje hluboké porozumění chování aktuálního procesu, ve kterém bude docházet ke zlepšování. Na základě porozumění procesu

dochází k vytváření jeho map, integrovaných vývojových diagramů či ke zhotovování map toku hodnot. Nesmí se ani zapomenout na určení všech faktorů, jaké do procesu různým způsobem vstupují nebo vystupují. [8] [11] [12]

Před samotným zahájením sběru dat dále musí projektový tým sestavit kompletní seznam přístrojů, jež bude při měření využívat v návaznosti na plán sběru dat. Tento mezikrok je nezbytný, jelikož každá operace v procesu je specifická a hodí se pro její měření odlišný měřicí přístroj. Důvěryhodná data je možné získat pouze za předpokladu, že se zvolí správná metoda měření. Výchozí způsob měření je volen v závislosti na náročnosti procesu, vyspělosti či velikosti firmy. Měření času se dá provádět více způsoby, avšak mezi nejznámější patří buď snímkování pracovního dne, kdy se sledují jednotliví pracovníci, případně celý pracovní tým, anebo snímkování operací. Ke snímkování průběhu operace dochází pomocí digitálních stopek či záznamového přístroje. Dále se mohou provádět snímky operací pomocí chronometráže. V dnešní době je však pro své víceúčelové využití hojně aplikované snímkování pomocí videozáznamu. Lze díky němu sledovat nejen celý průběh operace a jeho dílčích částí, ale získáváme i data pro určování pracovních drah robotů či pracovníků. [14] [15]

Plán sběru dat udává, jaký počet naměřených dat musí mít projektový tým k dispozici. Při nedostatku požadovaných dat by provedené pokusy a analýzy nebyly dostatečně věrohodné. Naopak s velkým množstvím dat může dojít k přesycení a kýžený výsledek by se nemusel dostavit v požadovaném čase. [14]

Dalším krokem této fáze je samotné měření neboli sběr potřebných dat. Na základě těchto dat se vytvoří analýza dat a rizik, která může vést k rychlému nastavení změn zlepšovaného procesu. Toto zlepšení však neznamena, že je projekt u konce. [8] [11] [12]

Vytvoření znalostní základny a získání potřebných dat představuje nezbytnou podstatu pro následující vyhodnocování těchto údajů a navrhování efektivních řešení vedoucích k odstranění problému. [8] [11] [12]

Fáze se považuje za ukončenou, proběhne-li kontrolní den a všechny výstupy etapy měření jsou řádně zpracovány. [12]

### 3.1.3 Fáze analyzování

Třetí fáze DMAIC cyklu zahrnuje především určení příčin odchylek mezi aktuálním stavem procesu a stanovenými cíli. Tyto příčiny se určují za pomoci matematických, statistických a grafických nástrojů. Samotné určení příčin však není jednoduché a jejich odhalení doprovází několik nezbytných kroků. [8] [11] [12]

Projekční tým se nejprve zaměří na analýzu hodnot, kdy určí, jaké činnosti v procesu se podílejí na přidávání hodnoty a které nikoliv. Týmy zaměřené na zlepšování procesu ve výrobní sféře se soustřeďují především na činnosti, též jejich části, kde může vzniknout problém v podobě plýtvání. Hojně je tu využita analýza hodnototvorných činností. Velmi významný je i ukazatel účinnosti cyklu procesu PCE, který spočívá v porovnávání s konkurencí, a na základě tohoto porovnání se nastaví cílová hodnota, které chce projekční tým svými zlepšeními v procesu dosáhnout. Dále nesmíme opomenout analýzu procesu, při které se nacházejí úzká místa, závady, časté opravy, prodlevy apod. [8] [11] [12]

Nasbíraná data z předchozí fáze se zde analyzují a určují se možné příčiny vzniku odchylek skutečného stavu od cílů. Metod pro určení příčin může být několik. Mezi nejpoužívanější patří např. Ishikawův diagram, analýza možností vzniku vad a jejich následků FMEA apod. Projektový tým tímto získá větší množství příčin, z jakých je zapotřebí dle závažnosti nebo důležitosti vybrat ty nejzásadnější. K jejich učení se často používá Paretova analýza, analýza pěti důvodů, korelační analýza testování hypotéz či analýza odchylek. Vybrané příčiny se musejí ještě ověřit, aby při následném navrhování řešení došlo k maximalizaci efektu. [8] [11] [12]

K navrhování řešení může posloužit strukturovaná metoda investic TRIZ nebo teorie řešení problémů. [12]

Stejně jako u předchozích etap ani zde nesmí chybět kontrolní den. [12]

### 3.1.4 Fáze zlepšování

V tomto kroku se projektový tým snaží nalézt nejlepší řešení pro odstranění nedostatků z procesu. Jednotliví členové týmu navrhnou různé varianty řešení, z nichž se následně vybere nejlepší a nejvhodnější řešení. Navrhnout taková řešení není vůbec jednoduché, vyžaduje to zkušenosti, kreativitu a hluboké znalosti dané problematiky. Projektový tým i zde pro správnou volbu využívá mnoho podpůrných prostředků jako např. nástroje Lean či nástroje Six Sixma. [8] [12]

Dost často tým navrhne celou řadu kvalitních řešení. Pro vybrání těch nejefektivnějších řešení týmy využívají metodu Dům jakosti, různé metody identifikace rizik apod. Dále je třeba mít na paměti, že vybrané řešení by mělo nejen odpovídat potřebám podniku, ale také splňovat jeho požadavky. Pokud projektový tým navrhne řešení, které vyřeší daný problém, ale jeho financování bude příliš náročné, požadovaný přínos se nedostaví. Proto musí po vybrání konkrétního řešení následovat ještě jeho ověření. Ověřené řešení se dále zapracuje do implementačního plánu, který mimo jiného zahrnuje časový harmonogram a hlavní mezníky realizace. Před samotným uskutečněním implementačního plánu projektový tým ještě srovná počáteční stav s uskutečňovaným. [8] [12]

Tato fáze skončí, proběhne-li úspěšně kontrolní den. [12]

### 3.1.5 Fáze kontrolování

Poslední fází cyklu DMAIC je fáze řízení neboli kontrolování. Cíl této fáze se ztotožňuje s cílem celého procesu, a to předat zadavateli projektu zlepšený proces, který je ozkoušený a odladěný od svých nedostatků. Ovšem aby tomu tak skutečně bylo, musí projektový tým ještě nějaké činnosti dokončit. [8] [12]

V této fázi pracuje projektový tým na potřebné dokumentaci nezbytné k zahájení realizace řešení vedoucí ke zlepšení procesu. Při samotné realizaci projektový tým dohlíží na její průběh. Další krok této fáze představuje monitorování zavedeného zlepšení, kdy jednotliví členové týmu pozorují zlepšený proces, sbírají potřebná data a v případě potřeby provádějí ještě dodatečná vylepšení, jež budou

předcházet možným problémům a chybám. Pokud jsou provedena nějaká vylepšení, musejí se zaznamenat do procesních diagramů, diagramů procesních toků či doplnit do již zhotovených analýz. Na základě pozorování sesbíraných dat se provede kontrola zlepšení procesu, která může být doplněna i o ekonomické hledisko. [8] [12]

Pokud se zlepšený proces ozkouší, je nutné ho před předáním stabilizovat. Pro zachování provádění pracovních činností podle nových požadavků vytvářejí členové projektového týmu standardizace procesu a aktualizují plán řízení. V plánu se nově definuje, jakými způsoby a kdy bude docházet k měření a kontrole procesu, dále pak, kdo je za co zodpovědný. [8] [12]

Ověření splnění všech bodů této fáze proběhne opět v kontrolním dni. Pokud nejsou shledány žádné nedostatky, může dojít k ukončení projektu. [12]

## 4 Plýtvání

V každém podniku dochází k vytváření určitých procesů, na nichž se podílejí pracovníci, roboti či stroje. Tyto jednotlivé aktivity buď výslednému produktu přidávají určitou hodnotu nebo nikoliv. Plýtvání spočívá v tom, že se jedná o činnosti, které nedávají produktu žádnou přidanou hodnotu. Přestože o nic neobohacují produkt, jsou s nimi spojeny mnohdy nemalé náklady, jež zvyšují cenu výsledných výrobků. Podniky se proto tyto činnosti snaží odstraňovat. Jak je zřejmé, odstraňování plýtvání úzce souvisí se štíhlou výrobou potažmo se štíhlým podnikem. Jelikož odstraňování plýtvání bylo vynalezeno v Japonsku, některé literatury uvádějí pojem MUDA, který vyjadřuje to samé. Chceme-li dostáhnout štíhlého podniku, musíme se na plýtvání zaměřit a eliminovat jej. [16]

Systemové odstraňování plýtvání s sebou přináší zavádění standardů ve formě technologických a pracovních postupů, návodů, předpisů, výměny nástrojů apod. Účelem je tedy nejen snížení výrobních nákladů, ale také úspora pracovní energie a materiálových zdrojů. [1]

Pro odstranění plýtvání je nejprve důležité jej nalézt. Proto se druhy plýtvání dělí podle toho, zda se nacházejí přímo ve výrobě nebo v administrativě. Diplomová práce je zaměřena na výrobní proces, proto se zde blíže přiblíží pouze plýtvání ve výrobním procesu. [14]

## 4.1 Plýtvání ve výrobních procesech

Nalezení zdrojů plýtvání ve výrobním procesu předchází analyzování aktuálního stavu v podniku. Je nutné si neplést viditelné zlepšení se skutečným. To, že si o něčem myslíme, že povede ke zlepšení ještě neznámá, že tomu skutečně tak bude. *„Skutečného zlepšení je dosaženo teprve tehdy, když jsou známy problémy a jejich příčiny.“* [17]

Konkrétněji jsou zde uvedeny druhy plýtvání definované metodologií Lean. Jednotlivé druhy plýtvání spolu mohou souviset a navzájem se mohou ovlivňovat. To znamená, že při odstranění jednoho druhu ztrát může dojít k eliminaci jiného. [17]

### 4.1.1 Nadprodukce

Nadprodukce znamená, že podnik vyrábí více produktů, než samotný zákazník poptává. Důvodů může být více. Podnik si vytváří pojistnou zásobu svých produktů pro případ poruchy stroje, chce využít výrobní kapacitu strojů či zaměstnanců. Všechny tyto důvody ovšem zvyšují náklady spojené s uskladněním většího množství potřebného materiálu, nedokončené výroby a hotových výrobků. Nejedná se jen o náklady na skladovací místa, ale také o náklady dopravní a administrativní. Nutno podotknout, že s nadprodukcí je spojena i potřeba větších výrobních prostor. [6] [17]

#### 4.1.2 Nadbytečné zásoby

Tento druh plýtvání je považován za největší provinění ve filozofii plýtvání. Úzce souvisí s plýtváním nadprodukcí, díky které se drží velké zásoby na skladech. Podniky se těmito vysokými pojistnými zásobami chrání především z obav včasného nedodání potřebných zásob od dodavatelů. Jak je již známo, vysoká míra pracovního kapitálu váže veliké množství finančních prostředků. Jedná se nejen o finanční prostředky skryté v nakoupených zásobách, ale také v nutnosti vlastnit větší množství skladových prostor, vysokozdvihných vozíků, zaměstnávat více pracovníků na pozicích skladník, řidič vysokozdvihného vozíku či operátor výroby. Prevencí pro zbytečně velké zásoby v podniku je volba zásobovacího systému Just-in-Time nebo Kanban. [6] [17]

#### 4.1.3 Defekty = Nekvalita

Nekvalitou je myšlena výroba výrobků, které nesplňují stanovené standardy kvality. V některých případech lze těchto standardů ještě docílit dodatečnými pracovními operacemi a výrobek prodat. Některé zmetky jsou bohužel neopravitelné a podnik má s nimi spojené pouze finanční výdaje ve formě nákladů za materiál, za lidskou činnost apod. Ovšem i v případě opravitelných zmetků podniku vznikají zbytečné náklady, jež jsou spojeny s dodatečnou potřebou výrobních operací. Všechny tyto operace nepřidávající hodnotu výrobku, prodražují výrobu. Takové činnosti je potřeba co nejvíce eliminovat. Nekvalitním a neshodným výrobkům můžeme předcházet tím, že se bude více dbát na přípravu výroby a na správné seřízení strojů. Též by se mělo dohlédnout na průběžné zařazení kontrol do výrobního procesu, aby v případě výroby vadných výrobků byla zajištěna co nejvčasnější náprava [6] [17]

#### 4.1.4 Zbytečné pohyby

Ve štíhlé výrobě je velká spousta pohybů klasifikována jako zbytečná. Děje se to proto, že každý pohyb by měl produkt obohatit o nějakou hodnotu. V případě



montážní linky vyhodnocujeme jako potřebné pohyby až ty, kdy dojde k připevnění dané součásti k výrobku. Z toho vyplývá, že většina pohybů pracovníka se dá považovat za zbytečné, neboť i vyndání potřebné součástky z boxu je kvalifikováno jako pohyb, který nepřidává žádnou hodnotu produktu. Přitom bez tohoto pohybu bychom se těžko obešli. V takové situaci je na místě se ptát, jaké pohyby jsou pro výrobu produktu skutečně potřebné a jaké nikoli. Za zbytečné pohyby považujeme přecházení spojené s hledáním potřebného předmětu či náradí, potřeby součástky, která se nachází ve větší vzdálenosti od našeho pracoviště nebo ruční manipulace s těžkými břemeny, jež by se měla provádět pomocí manipulačních vozíků. Odstranění nepotřebných pohybů ušetří spoustu času. Zejména pokud jde o hromadnou výrobu, kde se stejné činnosti vykonávají několikrát denně. Správné uspořádání pracoviště např. podle metody 5S může přinést nemalé časové úspory, které jsou samozřejmě spojeny s úsporou finančních prostředků. Metoda 5S je blíže popsána v kapitole 5.1. [6] [17]

#### 4.1.5 Špatné zpracování (overprocessing)

K plýtvání z hlediska špatného zpracování dochází přímo při samotném procesu zpracování produktu. Ztráty mohou způsobovat nevhodně zvolené technologie, nesprávně sestavené výrobní linky nebo špatné uspořádání strojů či pracovišť. Plýtvání způsobují i stroje, které nemají své nástroje v dobrém stavu anebo mají zbytečně nastavené dlouhé náběhy či přeběhy strojů. V jiných případech se za plýtvání považují přílišné kontroly produktů. Odstranění plýtvání často nemusí předcházet zdlouhavé shromažďování potřebných dat a jejich následná analýza, aby se určila příčina problému. [17] [18] Dost často na odhalení ztrát stačí zdravý rozum a malé vynaložení finančních prostředků, neboť jak je psáno v knize od Marie Jurové: *„Štíhlá výroba vždy usiluje nikoliv o jednoduše geniální řešení, ale o geniálně jednoduché.“* [17]

#### 4.1.6 Čekání (prostoje)

Tento druh plýtvání je v některých podnicích velmi častý. Naštěstí jej lze velmi snadno identifikovat. Za čekání považujeme cokoli, co brání ve výkonu práce. Může jít o nemožnost pracovat kvůli včasnému nedodání potřebného materiálu, závadu na stroji, nerovnoměrný výrobní proces, nedostatek informací potřebných k výrobě nebo čekání na seřízení linky při zavedení nového produktu. Prevencí tohoto plýtvání může být lepší organizace práce či zavedení metody zásobování Just-in-time. [6] [17]

#### 4.1.7 Transport

Transport bohužel nepředstavuje jen dodání potřebného materiálu do podniku a export hotových výrobků z podniku k zákazníkovi. Kdyby tomu tak bylo, nezahrnujeme transport do jednoho z druhů plýtvání. Zejména ve větších podnicích od sebe bývají jednotlivé výrobní úseky včetně skladů vzdáleny. Dopravu potřebného materiálu či rozpracovaných výrobků se po podniku převáží vnitropodnikovou dopravou. Pokud není využita vnitropodniková doprava, výrobky či materiál se mohou přemísťovat pomocí pásových dopravníků, linek, palet či vysokozdvizných vozíků. Všechny tyto způsoby dopravy jsou považovány za plýtvání, neboť nepřidávají výrobku opět žádnou hodnotu a prodražují výrobu. Podnik by se měl zaměřit na činnosti, jaké jsou nezbytné pro výrobu, na činnosti, jež jsou nezbytné, ale lze je efektivněji nahradit a na ty, které nejsou potřeba a je možné je odstranit zcela. [6] [17]

#### 4.1.8 Intelekt

Plýtvání v tomto smyslu eliminujeme, když budeme zaměstnávat na určitou činnost, jež sebou nese nároky na potřebný stupeň kvalifikace, pracovníka, který tuto kvalifikaci přesně splňuje. Pokud je jeho kvalifikace vyšší, je vhodné ho přiřadit na složitější a jeho kvalifikaci odpovídající činnosti. Jedná se ale o špatně

uchopitelný a komplikovaně odstranitelný faktor, podniky jeho eliminaci většinou neřeší. [8]

## 5 Kaizen

Kaizen je se štíhlou výrobou úzce spjat. Jeho původ sahá do Japonska a klade si za cíl neustálé zlepšování. Skládá se ze slov „kai“ a „zen“ a znamená změnu k lepšímu. Změny nastávají pomalu, ale jejich přijetí je trvalé. Přijetí více malých změn, které nijak výrazně nenarušují stávající chod podnikových činností, způsobuje velmi efektivní výsledky. [6] Hlavní myšlenka Kaizenu spočívá v prvořadém zlepšení sám sebe, až poté dochází ke zlepšení ostatních faktorů. [10] To znamená, že se bude postupovat od zlepšování osobního života přes rodinný, sociální až po život pracovní. Aby se chtěli zaměstnanci podílet na zlepšování chodu podniku, musí mít podnik vhodně nastavený motivační systém. [19] Zlepšování se netýká jen vrcholných manažerů, jak by se mohlo zdát, ale všech pracovníků podniku. Faktem je, že až 99 % problémů je spojeno s výrobním procesem podniku. Více než polovina těchto problémů se dá při jejich odhalení odstranit s minimálním vynaložením finančních prostředků. Často se při tom čerpá ze zkušeností pracovníků, které se na daném pracovišti vyskytují. [10]

### 5.1 Metoda 5S

Metoda 5S patří mezi základní nástroje při uplatňování filozofie Kaizen. Jeho kořeny sahají do americké armády, odkud byly převzaty nejprve do japonských podniků. Metoda se nazývá 5S proto, že obsahuje pět postupných kroků, které v japonštině začínají na písmeno „S“. Tato metoda se stala tak populární, že se v německy mluvících zemích definovalo jako 5A a v České republice se můžeme též setkat s názvem metoda 5U. V angličtině ke změně nedošlo. Tyto nástroje vycházejí z faktu, že pracoviště, která jsou organizovaná, jsou také více flexibilní a produktivnější. S lepší organizovaností také stoupá bezpečnost na pracovišti. [19] [16]

### 5.1.1 1. krok: Seiri – Utřídit

První krok metody 5S se zaměřuje na kvalifikaci jednotlivých věcí nacházejících se na pracovišti a určuje, zda jsou předměty zbytečné, zda se využívají občas nebo zda jsou potřeba při každodenním výkonu pracovní činnosti. Pokud se určí, že jsou věci zbytečné, jsou podle povahy předmětu přemístěny na sklad, na jiné specifické místo nebo jsou vyhozeny do odpadu. Věci používané každodenně se ponechají přímo na daném pracovišti a věci používané občas se uloží v blízkosti daného pracoviště tak, aby při vykonávání činnosti nebránily činnosti, ale zároveň aby se v případě jejich potřeby nenacházely daleko. [16] [19]

Takto přetříděné pracoviště najednou ušetří 15-30 % pracovní plochy, neboť skřínky, stoly a různé úložné boxy, které byly naplněny nepotřebným nářadím, materiálem a všemi zbytnými věcmi, jsou najednou nepotřebné, a tudíž dochází k jejich odstranění z pracoviště. [16] [19]

Pokud není u nějakého předmětu jednoznačné, zda se používá či nikoliv, označí se červenou kartou a o jeho ponechání na pracovišti se posléze diskutuje. Tento krok třídění neodmyslitelně patří mezi činnosti, jež se provádějí při zavádění štíhlé výroby v podniku. [16] [19]

Provedením tohoto kroku získáme vzdušnější a flexibilnější pracoviště s přehlednějším a lepším systémem uložení nástrojů, nářadí a materiálu. [16]

### 5.1.2 2. krok: Seiton – Uspořádat

V tomto kroku se podíváme na funkční uložení věcí. Pracoviště musí splňovat zásady ergonomie práce. Uložené věci by měly být snadno dostupné, aby se vyloučily nepotřebné pohyby, a nedocházelo tak k zdlouhavému hledání konkrétních nástrojů. [16] [19]

Uložení věcí v tomto bodě není trvalé. Je zde určitý čas na vyzkoušení si, zda jsme našli opravdu optimální řešení v uspořádání pracoviště pro všechny pracovníky nacházející se na daném pracovišti. [16] [19]

Na pracovišti neřešíme jen uspořádání věcí, ale také potřebné množství zásob. Chceme zajistit plynulou výrobu bez zbytečného hromadění materiálu a polotovarů na pracovišti. Hromadění zbytečných zásob považujeme za druh plýtvání. [16] [19]

### 5.1.3 3. krok: Seiso – Udržovat pořádek

Cílem tohoto kroku je dosáhnout čistého pracovního prostředí nejen z pohledu minimalizace rizika způsobení zranění, ale také z důvodů prevence poruch. Zastává se zde myšlenka, že pokud bude pracoviště udržované a čisté, předejde se neočekávaným abnormalitám a disfunkcím. Např. na čisté podlaze se rychleji odhalí, že dochází k úniku oleje ze stroje. [16] [19]

Úklid na pracovišti je nutné pojmout radikálně. Dochází k úklidu podlahy, pracovních ploch, strojů, ale např. i oken. Považuje se za nezbytné, aby si jednotlivá pracoviště uklízeli pracovníci sami, jelikož se to pokládá za prevence poruch a problémů. Při úklidu se snáze zjistí, že máme nějaké nářadí rozbité, zda stroj nemá poruchu apod. [16] [19]

Nastavením tohoto systému uklízení zajistíme nejlepší možný stav nejen pracoviště, ale také strojů. [19]

### 5.1.4 4. krok: Seiketsu – Určit pravidla

Seiketsu znamená v překladu určení si pravidel. K určování pravidel dochází v návaznosti na předchozí kroky. Pravidla slouží k zachování si jednotlivých výstupů z předchozích kroků do budoucna. Zajistíme si tak, že práce spojená s vytříděním, upořádáním a úklidem pracoviště se nestane bezúčelná. [16] [19]

K vytváření standardů a návodů dochází ve spolupráci s pracovníky nacházejících se na daných pracovištích. Tato kooperace si slibuje větší pochopení nastavených pravidel a předchází odporu, jenž by se mohl dostavit v případě nastavení pravidel bez předchozího zainteresování pracovníků daného pracoviště. Pravidla jasně

definují, jak má dané pracoviště vypadat a kde najdeme jednotlivé předměty potřebné k výkonu práce. [16] [19]

Na dodržování standardů dohlíží mistr, který zároveň šíří myšlenku, že dodržování standardů vede k ulehčování práce. [16]

#### 5.1.5 5. krok: Shitsuke – Upevňovat a zlepšovat

Cílem posledního kroku aplikování této metody je vytvoření kultury 5S v podniku a zlepšení sebedisciplíny jednotlivých pracovníků. Snaží se vytvořit jakýsi systém, který bude založený na motivaci lidí udržet a neustále zlepšovat svá pracoviště. Pro udržení současného stavu jsou nastaveny audity, jež se řídí určenými standardy daného pracoviště. Kontroly bývají často nastaveny na denní bázi, můžou se používat kontrolní dotazníky nebo se stanovují nové úkoly. Nejlepší pracovníci jsou odměňováni, což je velkou motivací. [16] [19]

## 6 Definice takt time, cycle time, waiting time a process time

Správné určení taktu v podnikové praxi je velmi důležité, zejména pokud firma uplatňuje Lean management. Klíčové bude jeho správné vypočítání a správné určení jeho limitu. Jednotlivé druhy času spolu vzájemně souvisejí. [20]

Takt time bývá často zaměňován s cycle time. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma časy je závislost takt time na poptávce zákazníků. Poptávku je nutné bezpodmínečně znát společně s disponibilní pracovní dobou v podniku, abychom mohli správně určit takt time. Disponibilní pracovní doba závisí na počtu odpracovaných směn, počtu nutných přestávek pro pracovníky, čas potřebný na servis strojů apod. Obecně lze říci, že takt time je časové období, v jakém musíme vyrobit daný produkt, aby došlo ke splnění požadavků zákazníka. [20]

$$T = \frac{T_a}{D} \quad (1)$$

Kde:

T – takt time [s]

T<sub>a</sub> – disponibilní doba za určité období [s]

D – poptávka za určité období [ks]

[20] [21]

Jak můžeme vidět v rovnici 1, takt time se vypočítá jako disponibilní pracovní doba/poptávka od zákazníků.

Takt time je vypočítaný čas, který je potřeba na výrobu jednoho produktu při poptávce stanovené zákazníkem, kdežto cycle time je skutečný čas potřebný na výrobu jednoho produktu. [20] [21] Process time definuje čas, po který produkt setrvá na dané pracovní stanici, kde dochází k přeměně výrobku o jeden nebo více stupňů. [22] [23]

Waiting time vyjadřuje jedno z osmi druhů plýtvání. Jedná se o čekání, a jak již bylo v této práci řešeno, dochází k němu v podnicích velice často. Jedná se o čas, kdy z nějakého důvodu není možné přidávat hodnotu danému produktu. Nejčastějšími důvody čekání je nedodání potřebného materiálu k výrobě, obsazení předchozího pracoviště, čekání na dokončení pracovní činnosti pracovníkem nebo robotem apod. [22] [24]

Lead time neboli průběžná doba výroby představuje celkový čas, jenž stráví výrobek ve výrobním procesu. Jak je naznačeno v rovnici 2, jedná se o součet všech process time a waiting time. [22] [25]

$$\text{Lead time} = \sum \text{process time} + \sum \text{waiting time} \quad (2)$$

Některé podniky do lead time zahrnují i čas potřebný na přípravu výroby a dobu trvání expedice. [22] [25]

# ANALYTICKÁ ČÁST

## 7 Historie automobilového průmyslu

Za první veliký milník v historii motorových vozidel je bezpochyby vynalezení parního stroje, který roku 1769 vynalezl Francouz Nikolás Joseph Cugnot na základě vědomostí Papina. Téhož roku vynalezl i samočinně pracující parní stroj Skot James Watt. Historické prameny se domnívají, že o vynálezu Jamese Watta neměl Nikolás Cugnot tušení. Nevýhodou parostroje byla velmi nízká účinnost a vysoká hmotnost. [26] [27]

Parní stroj nacházel uplatnění nejen na polích a silnicích, ale také na železnicích. Vynalezením parního stroje se spustila průmyslová revoluce, která měla za důsledek zakládání technických inženýrských škol. Jednou z nejstarších škol je i Pražská technika, která zahájila výuku žáků dne 7. 1. 1718. [27] [28]

Roku 1815 se prvního parního vozu dočkala i střední Evropa, který sestrojil český mechanik Josef Blažek. V tomto století odstartoval rychlý vývoj v oborech chemie, fyziky i techniky. [27] Parní stroje prošly značným vývojem, ale s jejich vysokou hmotností a nízkou účinností se nic nezměnilo. [26]

Zlom nastal až roku 1866, kdy německý vynálezce Nicolaus Otto vynalezl první čtyřdobý spalovací motor. Spalovací motor měl mnohem vyšší účinnost než parní motor a rychle se dostal do povědomí všech. [26] [27]

Roku 1886 se začala psát samotná historie automobilů, kdy Němec Karel Benzem, zaměstnanec firmy „Otto-motor“, požádal o zaregistrování vozu na patentním úřadě.

Vynálezcem vznětového motoru je bezpochyby německý vynálezce Rudolf Diesel, který se svým objevem přišel okolo roku 1900. Vznětový motor se nejdříve používal pro lodě, později pro lokomotivy, a nakonec se tento motor používal i do automobilů. Ovšem proces vývoje pro použití spalovacího motoru do automobilů trval dvacet let. [26] [27]



Počátek 20. století s sebou přinesl nevídaný rozmach automobilového průmyslu. Ve světě vznikaly první automobilky. „*Jednalo se o Benz a Opel v Německu, Peugeot a Renault ve Francii a Fiat v Itálii. V českých zemích to byla automobilka Laurin-Klement (později Škoda), Praga a Kopřivnická vozovka (později Tatra).*“ [26] Ani česká země nezůstala pozadu a první vůz zvaný Prezident představila roku 1898 Kopřivnická vozovna. [26]

Základy dnešní sériové výroby v automobilovém průmyslu postavil roku 1913 Henry Ford, který zavedl pásovou výrobu. O devět let později se již do historie zapisuje i sestavení prvního nákladního vozu, který je poháněn dieselovým motorem. Další vývoj a zefektivnění výroby na sebe nenechaly dlouho čekat. [26]

Mohlo by se zdát, že zájímání se o hybridní automobily či automobily poháněné elektrickými motory jsou záležitosti dnešních dní. Opak je však pravdou. Již v roce 1884 anglický konstruktér Thomas Parker položil základy pro dnešní podobu elektromobilů. Ovšem po mnohých ne příliš úspěšných pokusech o jejich vylepšení zájem poklesl. Zájem se pomalu vzbudil na počátku 90. let 20. století, kdy se v elektromobilech objevil určitý potenciál v řešení energetické krize. V dnešní době se dost řeší otázky ohledně ekologie, čistoty ovzduší apod. Mnoho automobilek se tak uchyluje k myšlence, že by elektromobily mohly kompletně nahradit automobily se spalovacími motory. [29]

Co se týká hybridních automobilů, i ty svým prvotním objevením mnohé překvapí. První hybridní vůz sestavil již roku 1901 Ferdinand Porsche. [30] Přestože základní kámen pro hybridní automobily byl položen již v roce 1901, v takové podobě, jaké ho známe dnes, byl představen až v roce 1997 v Japonsku. Automobil byl hnán spalovacím motorem a elektřinou. [26]

Vývoj automobilů postupoval dost rapidně, a ovlivnil tak životy všech. Nyní je pouze na lidstvu, jestli automobily využije pro dobrou věc, nebo se jimi nechá ovládnout.

## 8 Fáze definování

Analytická a návrhová část diplomové práce je pro efektivnější splnění stanovených cílů lehce inspirována fázemi cyklu DMAIC. Jednotlivé fáze cyklu DMAIC se budou zaměřovat na optimalizaci výrobního procesu vedoucího ke zvýšení celkové kapacity svařovny.

### 8.1 Informace o pracovním prostředí

Diplomová práce se zaměřuje na pracoviště svařovny v automobilovém průmyslu. Na daném pracovišti je zaměstnáno zhruba 800 zaměstnanců, kteří pracují ve třísměnném provozu. Pracovníci zde pracují na pozicích operátor výroby, seřizovač, karosář, operátor logistiky, pracovník ultrazvuku, auditu, rozměrovosti a údržbář. Na úseku údržby se dále nacházejí pracovníci na pozicích zámečník, elektrikář a programátor. [7]

Momentální výše robotizace výrobního procesu je 83 %, ale podnik se snaží tuto hodnotu neustále zvyšovat, aby byly výrobky vyráběny kvalitněji, rychleji a zabezpečila se tak plynulejší výroba. Zvýšení robotizace by mělo za následek zvýšení maximální kapacity svařovny, které je momentálně 1 000 ks karoserií denně při 85% využitelnosti. Využitelnost kapacity nebude nikdy 100 %, neboť i přes důsledné preventivní kontroly se může objevit prostoj, způsobený poruchou stroje nebo přesycením systému. [7]

Vyladit procesy tak, aby byla výroba plynulá, je složité, protože se na pracovišti vyrábějí 3 modely karoserií, přičemž každý model může mít různé varianty. Smí být odlišné karosářské provedení, různé varianty motorizace jako je např. elektro, CNG, hybrid apod. Některé automobily jsou vybaveny střešním oknem či panoramatickou střešou, tažným zařízením nebo podélnými střešními nosiči. S těmito odlišnostmi je potřeba předem počítat a upravit výrobní proces. [7]

Svařovna je považována za srdce podniku, jelikož zde dochází k vytvoření základní kostry výrobku. Na svařovně se danému modelu přiřadí jeho charakteristické rysy a geometrické tvary. Kostra auta, stejně jako kostra

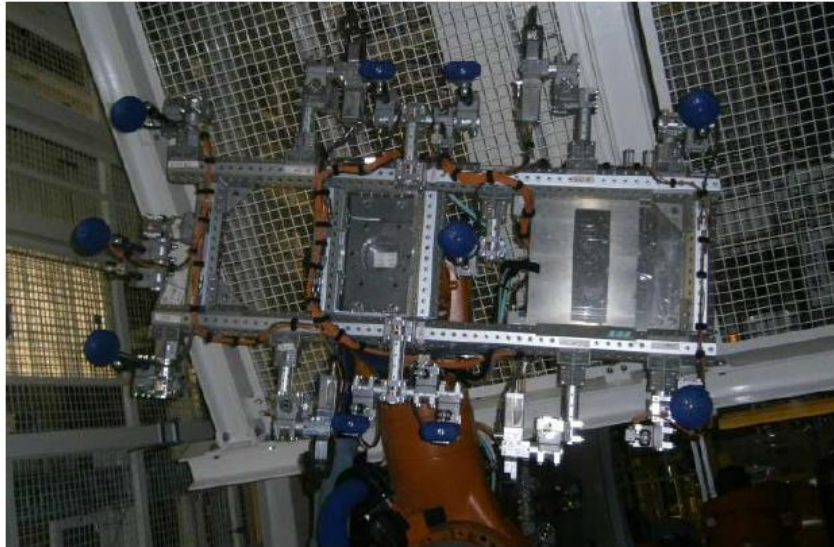
člověka, má mimo jiného i ochranou funkci. Proto se v podniku na kvalitu a bezpečnost karoserie klade velký důraz. V nejvíce náchylných místech karoserie jsou použity vysokopevnostní plechy. V důsledku vyšších nároků na bezpečnost se procentuální zastoupení těchto plechů neustále zvyšuje. [7]

## 8.2 Výrobní technologie

Pro spojování dílů ve svařovně se používají různé metody. Ty se následně volí podle toho, jaké materiály budou spojovány. Rozlišujeme především, jestli se jedná o spojování dílů stejného nebo odlišného materiálu se stejnými nebo odlišnými tloušťkami a vlastnostmi. Podle potřeby využití mohou být plechy např. pozinkované či kalené. Ve svařovně dochází ke spojování ocelových a hliníkových dílů. Pro spojování ocelových dílů se používají technologie laserového pájení, lemování, výztuhové lepení, odporové bodové svařování, svařování MIG, svařování MAG a klinčování.

Pro spojování hliníkových materiálů není příliš vhodné bodové svařování, protože je energeticky velmi náročné. [31] Spojování tohoto materiálu a jeho různých kombinací je zajišťováno především pomocí nýtů, šroubových spojů a závrtných šroubů. [7]

O využití těchto technologií se v mnoha případech starají roboti. Aby byly roboti využity co nejefektivněji, disponují mnoha výměnnými nástroji. Jedním z nich je nástroj greifer. Greifer slouží k uchopování různých dílů, které následně přenesou na požadované místo. K uchopení dochází pomocí přísavky, jež fungují na základě podtlaku. Robotické rameno s greiferem najede nad požadovaný díl tak, aby se dílu dotýkal přísavkami a vytvoří podtlak. Vyjme díl od ostatních dílů a hned, jak je to možné, zabezpečí díl zespodu ještě upínkami, aby nemohlo dojít k vysmeknutí dílu z nástroje. Greifer si lze prohlédnout na obrázku 4. [7]



*Obrázek 4: Nástroj greifer [7]*

Dalším nástrojem, s jakým se často setkáváme, jsou svařovací kleště. Kleště mohou mít různé velikosti a tvary. Volba parametrů těchto nástrojů se odvíjí od místa vytváření bodového svaru. Může se jednat o standardní tvar nebo robot pracuje v hůře dostupných místech a je nutné, aby kleště věrně kopírovaly tvar karoserie automobilu. V některých případech vznikají bodové svary pouze z jedné strany, a to především kvůli designu. Může jít například o kapotu, kde se svar provádí pouze z vnitřní strany. [7]

Aby nedocházelo k časté výměně svařovacích kontaktů na nástroji, po vytvoření určitého počtu svarových bodů si robot sám najede do stojanové frézky, kde dojde k ofrézování kontaktů od připečenin a nečistot. Tato operace zkvalitňuje bodový svar, body jsou vzhledově pěkné a bez otlaků na dílech. Prodlužuje se tím také životnost kontaktů, která má vliv na náklady. Projevuje se jasná úspora času vlivem nižších zásahů do výrobního procesu častým vyměňováním kontaktů. V některých případech mohou být svařovací kleště připevněny ke stojanu a díly jsou k těmto stabilním kleštím roboticky podávány. Děje se to zejména kvůli nedostatku místa na pracovišti nebo kvůli zrychlení výrobního procesu. I v tomto případě dochází ke frézování kontaktů a to tak, že frézovací hlava je připevněna k robotickému ramenu a v případě potřeby přesně najede ke svařovacím kleštím.

Ve svařovně je také k vidění robot, na nějž je upevněna brousící hlava. Tito roboti brousí převážně vytvořený laserový svar, který spojuje střechu a vnější rám karoserie. Po každé výrobní operaci si robot svůj nástroj zkalibruje, aby znal přesné souřadnice konce brusného kotouče a broušení bylo přesné. [7]

Pokud jde o provádění kontrol ohledně správnosti geometrie, rozměrů a tvarů, i toto provádí v některých případech robot, jenž disponuje měřicí hlavou. Bohužel jsou ale činnosti, které robot nedokáže, a je nezbytný zásah personálu. Například u detailního vyhledávání deformací dotekem pomocí manchestrové klempířské rukavice napomáhající k citlivosti a jednoduššímu vyhledání plošných nerovností. [7]

Robot je základem automobilového průmyslu. Většinou si dokáže sám vyměnit jeden nástroj za druhý. V rámci výrobního procesu ve svařovně, z důvodů časových a prostorových, dochází k výměně stejného druhu nástroje za jiný typ. Třeba greifer má pro každý typ automobilu speciálně uzpůsobený nástroj, který si dle potřeby vyměňuje sám. [7]

I připevňování tuckerů a böllhoffů na karoserii je výsadou robotů. Tito roboti vykonávají pouze tuto práci, nevyměňují si své nástroje. Jsou propojeny pomocí podávací hadice s podavačem k zásobníku, v němž mají potřebné komponenty. Tyto zásobníky musí obsluhovat pracovník a hlídat, aby byly vždy dostatečně plné. Stejně tak je to i s robotem, který aplikuje na karoserii vozu a jeho jednotlivé díly lepidlo. Zásoby s lepidlem se nacházejí ve velkých sudech a k vysávání lepidla dochází pomocí pumpy. Celý systém probíhá na bázi dvou sudů z důvodu zajištění neustálého přísunu lepidla. Obsluha tak mění prázdné sudy za plné maximálně jednou za směnu. [7]

Další používané technologie ve svařovně, jež zajišťují roboti, představují MIG a MAG svařování. Metoda svařování MAG se používá především pro spojování materiálů z konstrukční oceli či nízkolegované oceli a metoda MIG naopak spojuje vysoce legované ocele a díly vyrobené z neželezných kovů. [7] [32]

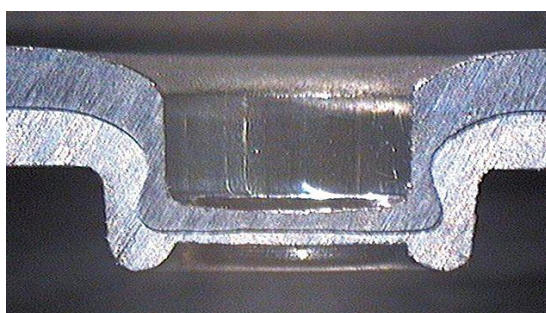
Plně roboticky obsluhované pracoviště můžeme najít i v laserové kabině, kde dochází k laserovému pájení. Touto metodou lze spojovat heterogenní

materiály a tvarově složité díly. Jako přídavný materiál se používají slitiny mědi. Za jeho velikou výhodu je považována nízká deformace svařovaných dílů, vysoká pevnost svaru a malé tepelné ovlivnění místa svaru. Svar působí úhledně a čistě, proto se využívá ke spojování dílů z vnější části karoserie. Za nevýhodu je považována potřeba vysoké koncentrace energie i vysoké nároky na odladění kvality sváru. [7] [33]

Šroubové spoje a závrtné šrouby se nejvíce používají ke spojení různorodých materiálů nebo materiálů, u nichž nechceme, aby došlo k tepelnému ovlivnění v oblasti spoje. Další důvod pro použití právě závrtného šroubu představuje jeho následné využití při montáži různých dílů, které lze díky závitu snadno uchytit. [7]

Ve svařovně se můžeme setkat i s lemováním. Jedná se o velmi oblíbenou a často využívanou metodu spojování materiálů zejména pro její energetickou nenáročnost a vyšší produktivitu. I tato metoda spadá do tváření za studena a využívá plastické deformace materiálů. Touto metodou dochází k výrobě všech dveří automobilu včetně kapoty, kdy se spojuje vnější část s vnitřní. [7] [34]

Další metodu spojování materiálu představuje klinčování. Je to metoda tváření za studena pomocí speciálních nástrojů, kdy dojde k prolisování spojovaných materiálů. Tomuto prolisu se říká mechanický zámek nebo knoflíkově pozitivní spojení a je zobrazen na obrázku 5. Ve svařovně se využívá k výrobě přední kapoty automobilu, kdy dochází ke spojení vnitřní a vnější části kapoty. [7] [35] [36]



Obrázek 5: Mechanický zámek [36]

Hojně využívanou metodou pro spojování materiálů bez ohledu na druh použitého materiálu představuje nýtování. Ve svařovně dochází k připevnění

identifikačního štítku na karoserii automobilu ruční nýtovací pistolí hned na začátku celého výrobního procesu. [7]

Také se na pracovištích ulehčuje a urychluje ruční montáž pomocí přípravků. Přípravky slouží k manipulaci a ustavení panelových dílů, jako jsou boční dveře, 5.dveře, kapota, blatníky, panty apod. K dolícování dílů používají pracovníci certifikovaná měřidla, sekáče či kladiva. [7]

### 8.3 Proces výroby

Na svařovně vše začíná dopravením potřebných dílů z lisovny a od externích dodavatelů. Tyto díly jsou na určené místo dopraveny vysokozdvížnými vozíky v paletách. Odtud jsou díly ihned roboticky odebírány nebo jsou zakládány člověkem do zakládacího okna. Poté putují k dalšímu zpracování. [7]

Prvním pracovištěm na svařovně je AC1 Geo. Pracoviště je plně robotizované, roboti si sami berou potřebné díly ze zásobníku pomocí greiferu. Dochází zde ke spojení přední a zadní části podlahy a k přivaření podélníků, který již obsahuje identifikační štítek karoserie. Štítek je na karoserii po celou dobu životnosti karoserie, je důležitý i pro následující provozy, protože podává informace o barvě karoserie pro lakovnu, výbavě a specifikaci pro montáž atd. [7]

Tato nosná část karoserie je dále dána robotem na skid, na němž karoserie absolvuje celý výrobní proces ve svařovně pomocí válečkového dopravníku. [7]

Z AC1 Geo putuje karoserie na pracoviště AC1 Dovářka 1. Na této lince dochází k dováření kleštěmi a k MIG svařování spojů mezi přední a zadní podlahou, popřípadě dovaření podélníků, aby bylo dosaženo požadované pevnosti těchto dílů. [7]

Následujícím pracovištěm je AC1 Dovářka 2. Dochází tu k otočení podlahy automobilu o 180°, aby bylo možné připevnit na spodek karoserie potřebné součástky a díly. Přivařují se zde tuckery a böllhoffy k vnitřní i vnější části karoserie. Tuckery jsou kovové šrouby přivařené ke karoserii. Böllhoff můžeme přirovnat k nýtům se závitem. Umožňují instalaci různých dílů využívané především

na montážní lince. Pomocí tuckerů se připevní k podlaze karoserie nosná konstrukce. Za zmínku určitě stojí, že na tomto pracovišti nalezneme 45 robotů. [7]

Seskupení AC1 se skládá z linek AC1 Geo, AC1 Dovářka 1 a AC Dovářka 2. Linka se dále dělí na stanice. Každá stanice má svůj bezpečnostní okruh, jenž jde v případě potřeby odpojit či pozastavit, aniž by se tím narušila činnost ostatních stanic nebo linek. [7]

Dalším pracovištěm, kde dojde ke zvýšení hodnoty našeho produktu je AC2 Geo. Stejně jako pracoviště AC1 Geo, i toto pracoviště je zcela robotizované. Roboti připevňují k podlaze karoserie zadní příčníky, příčnou stěnu, přední i zadní podběhy kol, zadní čelo a držáky zadních sedadel. To vše dělají pomocí bodového svařování. I na tomto pracovišti si roboti berou potřebné díly rovnou ze zásobníku pomocí griferu. [7]

Po přimontování zmíněných částí pokračuje karoserie na dopravníku do stanic linky AC2 Dovářka 1 a následně na pracoviště AC2 Dovářka 2. Na obou linkách se nachází malé množství pracovníků. Ti pomocí bodů a svarů připevňují komponenty k sobě ve špatně dostupných místech, kam se robotické kleště nedostanou. Na stanici AC2 Dovářka 2 se navíc nachází kontrolní místo, které má za úkol vyhodnotit, zda jsou sváry, body, lepidla, tuckery a böllhoffy připevněny či nainstalovány v té nejlepší kvalitě. V případě, že tomu tak není, karoserie se odkloní z linky a je přesměrována na pracoviště Repasí. Pokud dojde k opravení, karoserie se vrací zpět na linku, kde pokračuje ve výrobním procesu. Jestliže nelze danou závadu opravit, dojde k sešrotování karoserie. K sešrotování výrobku dochází jen ve velmi výjimečných případech, neboť se jedná o zbytečné vynaložení finančních prostředků. Závada na karoserii nemusí být vždy způsobena špatným výrobním procesem, na vině může být i dodavatel, jenž nedodal díl ve stanovené kvalitě. [7]

Nutno podotknout, že každý zásah do linky (odebrání a vrácení karoserie) s sebou nese určité ztráty taktu. Ty ovšem generují redundantní náklady. Je nutné tyto ztráty co nejvíce eliminovat. [7]



Až polotovár projde kontrolou na konci linky AC2 znamená to, že je podlaha karosérie kompletně hotová a uzavírá se jeden výrobní celek. V této fázi nazýváme nedokončený výrobek platformou AC2. [7]

Dalším pracovištěm, jakým musí náš produkt projít, aby z něj byla hotová karosérie, je pracoviště L1. V první části tohoto pracoviště nanese robot na platformu AC2 lepidlo, na které se později připevní vnitřní rám. Poté putuje karosérie přes kontrolní stanici na pracoviště, kde pracovníci připevní výztuhu střechy. V následujícím kroku vjíždí karosérie do plně robotizované stanice. Tam se nachází roboti a framer a dojde k připevnění vnitřních rámu. Framer na každé straně uchopí daný vnitřní rám (buď levý nebo pravý vnitřní rám), přiloží ho do předem určeného místa na karosérii a celou karosérii upne na požadované rozměry. Roboti se svařovacími kleštěmi spojí materiál pouze na nezbytných místech pro zachování přesných rozměrů, jelikož zde vlivem velkých přípravků není dostatek prostoru. Plná fixace rámu probíhá až na následujících pracovištích. [7]

Vnitřní rám se nejprve na vedlejší lince poskládá z postranic a tří druhů sloupků, a pak putuje pomocí EHB dopravníku na hlavní linku. Aby bylo jasné, jaký vnitřní rám se má k dané karosérii připevnit, dochází k odvolávkám na linku vnitřních rámu pomocí sekvence výroby z linky AC2. To způsobí, že pracovníkům na začátku linky rámu svítí typ rámu, který se má právě založit. [7]

Výrobek, co již tvarově připomíná karosérii automobilu, putuje po skidu do pracoviště L2. Zde dochází obdobným způsobem jako u předchozího pracoviště k připevnění vnějších rámu. I tyto rámy se nejprve zhotoví na vedlejší lince. K práci se využívají roboti, framer i pracovníci. [7]

Významný díl, jenž karosérii ještě chybí, je střecha. Ta se fixuje na pracovišti L3. Pracoviště je plně automatizované. Robot s nástrojem greifer vezme požadovaný typ střechy ze zásobníku, najede k pevnému dávkovači plastisolu, který díky pohybu ramene robota nanese lepidlo na předdefinovaná místa. Po nanesení lepidla robot umístí střechu na karosérii. Lepidlo netuhne hned, ale až za několik hodin. Jeho vlastnosti se naplno projeví až po procesu lakování, kde karosérie projíždí komorami s vysokými teplotami. Střecha karosérie se připevňuje pomocí

laserového pájení. Proto následná cesta vede do laserové kabiny. V laserové kabině pracují čtyři roboti, dva z nich po celé délce rozhraní karoserie a střechy vytvářejí úhledný svar. Ten je ovšem nutné zbrousit. Tuto činnost provádějí další dva roboti s brousící hlavou bezprostředně za laserovou kabinou. [7] [37]

Karoserie dále putuje na pracoviště L4, kde dochází ke kontrole laserového svaru pracovníky a dobroušení svaru, kam se brousící hlava nedostane. Další náplní práce je bodové svařování a připevňování tuckerů potřebných pro přichycení dílů. [7]

Nyní by se mohlo zdát, že proces výroby ve svařovně končí. Není tomu tak. Je zapotřebí připevnit panelové díly karoserie, které musejí procházet procesem lakování společně se zbytkem karoserie, doladit detaily a provést kontroly stanovených specifikací. Jde zejména o kontrolu bodů, svárů, böllhoffů, pevnostní zkoušky lepidel, zkoušky tahem, krutem, metalografické zkoušky a penetrační zkoušky. [7]

Následujícím pracovištěm je dokončovací linka DL1. Pracoviště není robotizováno, práci zde vykonávají výhradně lidé. Svářeči pomocí MIG svařování spojují materiál ve špatně přístupných místech, brusiči upravují nedokonalosti týkajících se stojin vnějších rámců a otřepů po bodovém svařování. Věnují též pozornost správnému přesazení stojin. Dále dochází k čištění lepidel, kontrole svarů a bodů a k jejich leštění na pohledových místech. [7] [37]

Pracovníci také musejí připevnit na karoserii automobilu přípravky určené pro montáž dveří. Pro představu na tomto pracovišti nalezneme 30 pracovníků. [7]

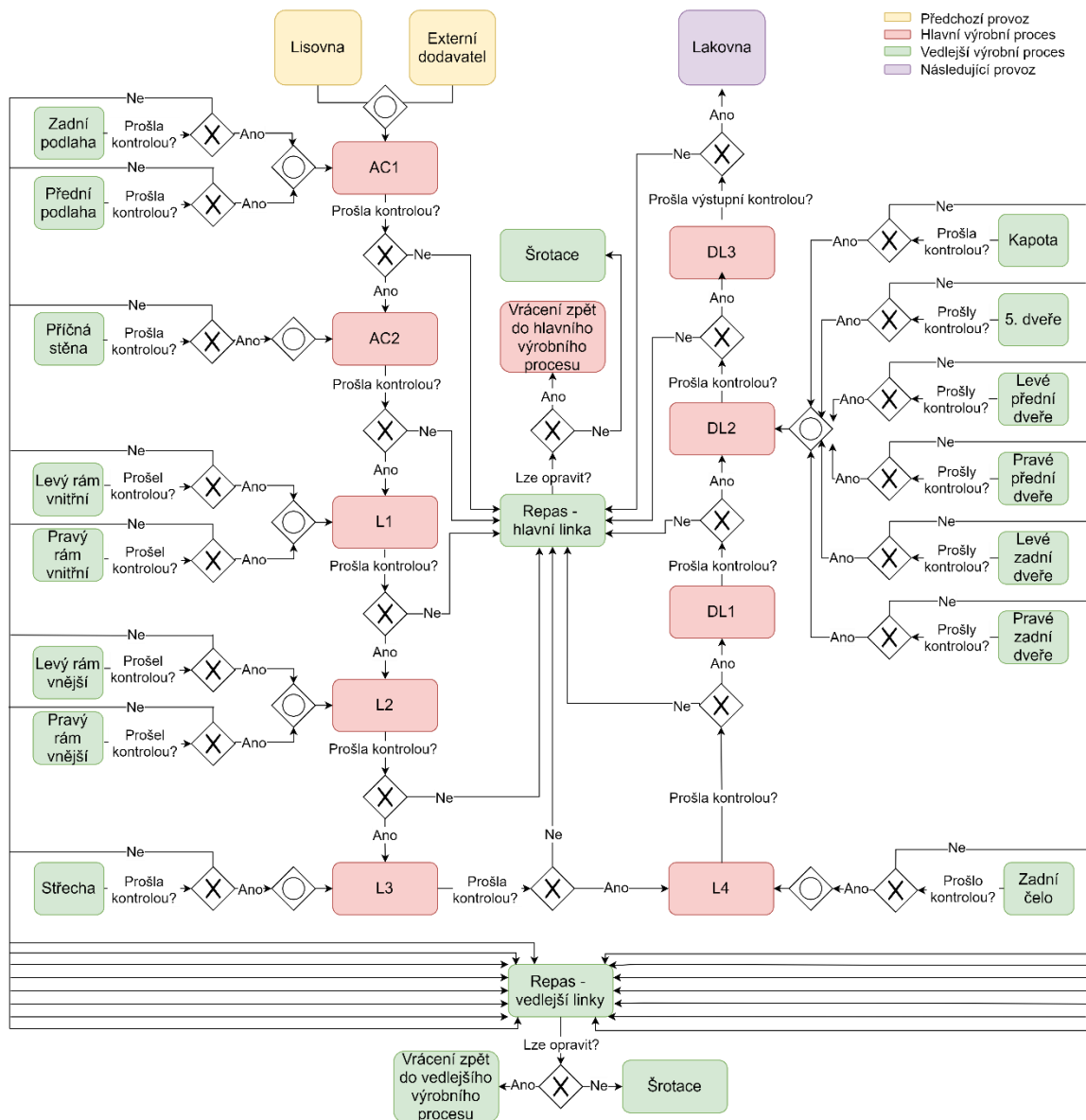
Z linky DL1 pokračuje skelet karoserie na pracoviště DL2. Pracovníci připevňují na karoserii auta zadní dveře, přední dveře, blatníky, kapotu a na závěr přimontují i 5. dveře. Vše musí být perfektně usazeno, přesně lícovat, aby bylo možné dveře zavřít a aby při jízdě nedocházelo ke špatnému obtékání karoserie vzduchem – ke špatné aerodynamice. Ani tady nenalezneme žádného robota. Pracovníkům se podnik snaží práci co nejvíce usnadnit tím, že mohou při fyzicky náročných pracích používat speciálně vytvořené přípravky či manipulátory, jež ušetří čas a sníží náročnost dané operace. Může jít o přípravek na nasazování dveří

a kapoty. Stejně jako na jiných pracovištích, i tady se velice dbá na předepsané požadavky ergonomie. [7]

Posledním pracovištěm výrobního procesu ve svařovně je DL3. V první řadě dochází k celkové kontrole karoserie. Pracovníci se zaměřují na nedokonalosti. Tyto nedostatky se následně snaží odstranit klempíři. Další skupina pracovníků kontroluje správnou přilnavost dveří ke karoserii. V neposlední řadě dochází k jemnému broušení povrchů a následnému čištění karoserie nezbytné pro poslání karoserie do lakovny. Před koncem výrobního procesu karoserie dojde ještě ke kompletní výstupní kontrole. [7]

Pracovníkům slouží na pracovištích manuály, kde je přesně specifikované, co a jak mají u daného modelu a typu karoserie dělat. Na jedné robotické stanici zpravidla vykonávají činnost čtyři až šest robotů. [7]

Pro lepší srozumitelnost je výrobní proces zpracován do procesního diagramu (obrázek 3: Procesní mapa výrobního procesu karoserie automobilu). Zobrazeny jsou i jednotlivé vstupy potřebných dílů na konkrétních pracovištích, kde budou spojeny se skeletem karoserie. Ve výrobním procesu je velké množství dílů na vstupu. Pro znázornění jsou vybrány pouze ty nejhlavnější.



Obrázek 6: Procesní mapa zjednodušeného výrobního procesu karoserie automobilu (zpracováno dle [7])

## 8.4 Definování cíle

Jak již bylo řečeno, cílem této diplomové práce je optimalizovat takt ve svařovně tak, aby bylo možné navýšit maximální možnou kapacitu svařovny za účelem uspokojení stále se zvyšující poptávky po produktech podniku. Toho lze dosáhnout odstraněním plýtvání z výrobního procesu.

Největší množství plýtvání bývá zpravidla při dostavbě nové linky. Zde dochází ke sledování a vyhodnocování jednotlivých taktů (stanic, robotů). Pokud dojde

ke zjištění, že nějaká stanice nebo robot ve stanici má příliš dlouhý takt a zdržuje ostatní pracoviště, musí dojít k nápravným opatřením. Dalším důvodem pro zrychlování taktů je nesplňování požadované kapacity pracoviště. Způsobů optimalizace máme několik. Dochází k úpravě výrobního procesu, ke zrychlení pohybů robotů nebo dopravníků. Často se pracovní činnosti přesouvají z pomalého pracoviště tam, kde pracovní operace nejsou časově náročné. Přesunem dojde k vyrovnání taktů pracovišť. Tím se celkový čas potřebný na výrobu jedné karoserie zrychlí. V případě urychlení práce robota dochází k úpravě programu a vyhlazení jeho drah.

Aby mohla být navýšena maximální možná kapacita svařovny, musí nejprve dojít k identifikaci potenciálních problémů a k určení jejich příčin. Pro ty nejzávažnější se navrhne vhodné řešení vedoucí k jejich odstranění.

## 9 Fáze měření

### 9.1 Stanovení taktů ve svařovně

V teoretické části jsou uvedeny různé druhy taktů jako např. takt time, process time apod. Praxe však bývá mnohdy odlišná od teorie.

Podnik má veškeré takty na všech pracovištích přesně definovány a rozlišuje různé druhy taktů. Může jít o takt robota, takt ruční stanice, takt robotické stanice, takt čekání nebo se měří takt karoserie. Takty jsou navíc pro každé pracoviště podrobně definovány, aby vždy zachytily všechny důležité informace potřebné pro navazující použití.

Pokud se jedná o takt stanice na lince, kde pracují pouze lidé, takt začíná ve chvíli, kdy skid s karoserií dostane signál k najetí do pracovní stanice. Konec počítání taktu nastane po stisknutí potvrzovacího tlačítka pracovníkem, kdy je operace dokončena. Na těchto linkách musí dojít ke stisknutí potvrzovacího tlačítka ve všech stanicích linky, aby se linka mohla opět rozjet a skid s karoserií se mohl přesunout na následující stanici. Z praxe však vyplývá, že informace

o naměřených taktech mohou být mírně zkreslené. Někteří pracovníci mohou potvrzovací tlačítko stisknout dříve a poté ještě provádět různé pracovní úkony na karoserii.

Co se týká robotických stanic, takt je zde definován jinak, než je tomu u ručních stanic. Ke spuštění měření taktu dochází ve chvíli zaznamenání signálu pro rozjezd skidu z předchozí stanice. Skid ve stanici dosedne na středící kolíky, a tím se odstartuje práce robotů. Pokud mají všichni roboti ve stanici svou práci hotovou, karoserie vyjede z dosedů středících kolíků, a ve chvíli, kdy se otevřou výjezdová mezistaniční vrata, dojde ke skončení měření taktu stanice. Celý proces měření začíná znovu. Když po otevření výjezdových mezistaničních vrat nemůže karoserie ze stanice odjet z důvodu plné následující stanice, dochází ke startu měření taktu čekání. Takt čekání se přestane měřit ve chvíli, kdy karoserie dostane informaci o uvolnění následující stanice a příkaz k odjezdu.

Takty u robotů se počítají následovným způsobem. Měření se spustí přijetím signálu, který pobízí robota k činnosti. Signál je robotovi poslán ve chvíli, kdy skid s karoserií dosedne na středící kolíky. Pro konec měření je charakteristické dokončení práce robota a odjetí do tzv. home pozice. Na některých stanicích může dojít i k pozastavení měření. To nastává v případě, že robot čeká na uvolnění odkládací pozice nebo na pracovišti není dostatek místa pro práci více robotů najednou, jelikož pracovní operace jsou příliš složité. Pokud se mu tato pozice uvolní nebo se stav, jenž bránil v práci vyřeší, dojde ke konci pozastavení měření taktu.

Takt robota je zpravidla většinou menší než takt stanice. Jen ve výjimečných případech je takt robota vyšší, a to při výměně nástroje či při frézování kontaktů, kdy robot nebrání lince v odjezdu, neboť k těmto činnostem dochází mimo linku.

Takt karoserie je složen z taktu stanice a taktu čekání. Jak už bylo řečeno, k čekání dochází v případě, že je práce na dané stanici již vykonaná, ale karoserie nemůže pokračovat dále, neboť následující stanice má delší pracovní takt a stále pracuje na dokončení dané pracovní operace na produktu. K čekání dochází i v případech, kdy se ve výrobním procesu objeví prostoj.

Stanovení jednotlivých taktů je ovlivněno na jednotlivých pracovištích mnoha faktory. V první řadě jsou odvozeny od maximální možné kapacity svařovny. Také záleží na náročnosti a počtu operací, jež se na dané lince musí vykonat, a na daném modelu a typu, který je právě na lince zhotovován. V neposlední řadě též záleží na celkové poptávce zákazníků po automobilech. Podnik se poptávku snaží vždy uspokojovat. Obecně platí, že takt stanic se pohybuje okolo 50 až 60 sekund.

Doba výroby jednoho produktu trvá přibližně 6 hodin a jedná se o čas, kdy je na podélník připevněn identifikační štítek karoserie až do okamžiku, kdy hotová karoserie projede výstupní kontrolou. Tento takt představuje cycle time. Takt robotických a ručních stanic představuje process time. Waiting time ve svařovně se skrývá pod pojmem doba čekání na další takt či takt čekání. S oběma výrazy je možné se setkat.

## 9.2 Metody měření spotřeby času

V automobilovém průmyslu probíhá mnoho činností roboticky či automaticky. U sběru dat tomu není jinak. Zde je systémový sběr dat prováděn především z důvodů eliminace vnesení chyb vlivem lidského faktoru.

Měření a sběr dat ve svařovně zajišťuje PLC řídicí skříň, která se nachází na každé stanici. V PLC řídicí skříně je programem vytvořený blok na řízení taktů, včetně přesně definovaných startů, pozastavení a konců taktů. Naměřenou hodnotu s veškerými informacemi o typu automobilu, konkrétní stanice či robota, prováděné operace apod. odešle s časovou známkou do vizualizace, jež vše sbírá a následně zpracovává reporty, které odesílá do uložště. Tam jsou k dispozici pracovníkům, kteří s těmito údaji dále pracují.

Veškerá označení hal, pracovišť, robotů, typů automobilu podléhají standardům firmy, které jsou neustále tvořeny a aktualizovány.

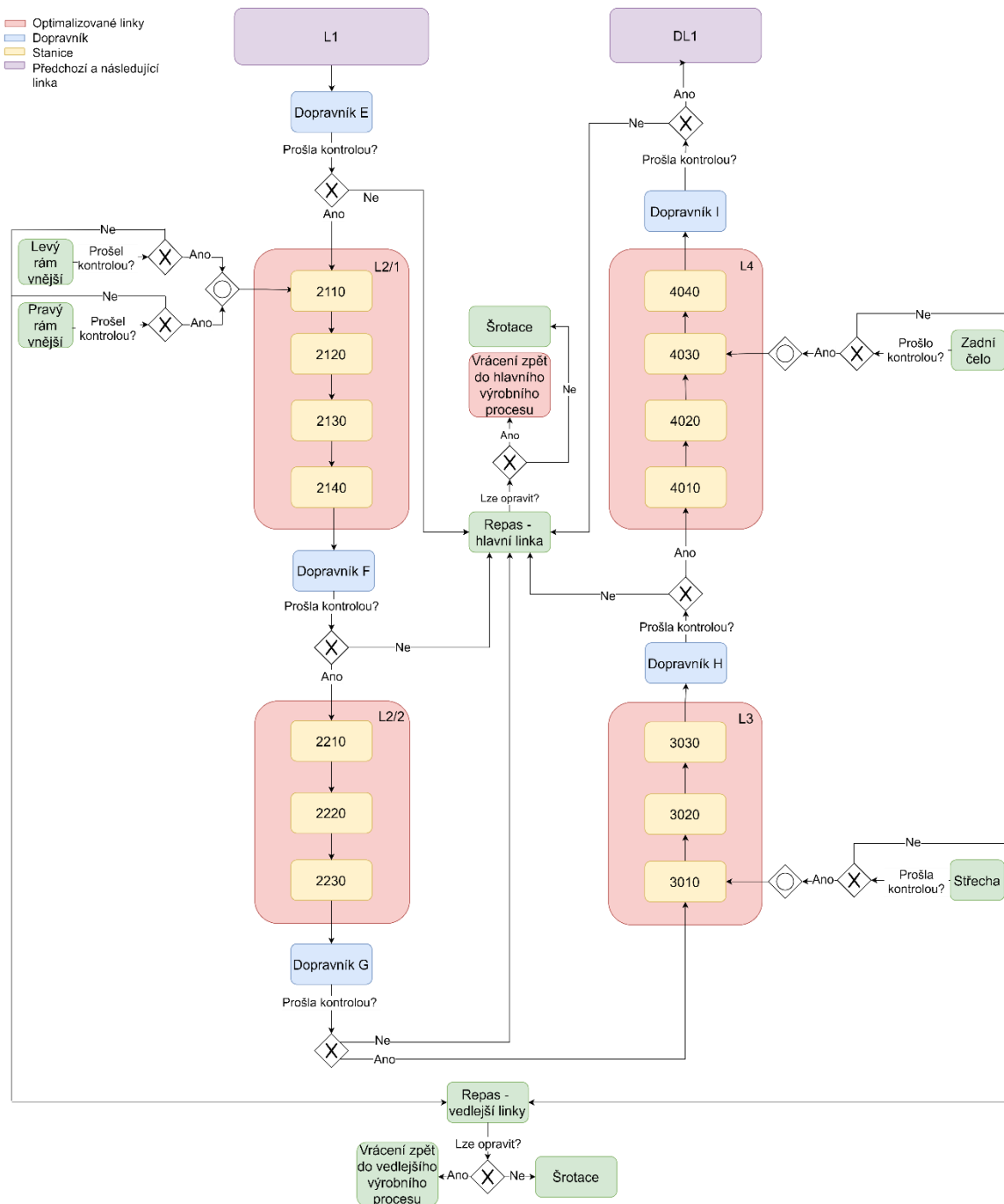
## 10 Fáze analyzování

### 10.1 Bližší zaměření

Vzhledem k rozsáhlému výrobnímu procesu a aktuální situaci bylo po konzultaci se středním managementem podniku rozhodnuto, že se diplomová práce zaměří pouze na část nikoli na celý výrobní proces. Vymezení části výrobního procesu povede ke zvýšení pravděpodobnosti identifikace a vyřešení daného problému.

Tato práce blíže přibližuje a analyzuje pracoviště, která se nacházejí na linkách L2, L3 a L4. Schéma stanic jednotlivých linek včetně polotovarů, jež do stanic vstupují, je vyobrazeno na obrázku 7.





Obrázek 7: Podrobnější procesní mapa linek L2, L3 a L4 (zpracováno dle [7])

Mezi jednotlivými linkami se nachází vždy dopravník, jenž slouží zároveň i jako zásobník karoserií pro plynulejší výrobu. Dopravník E, který se nachází před linkou L2/1, a dopravník G nacházející se před linkou L3, má kapacitu zásobníku 35 karoserií. Ostatní dopravníky mají kapacitu menší, a to 25 míst. [7]

Aby bylo možné danou část výrobního procesu správně zanalyzovat, bylo nezbytné výrobnímu procesu porozumět. K tomu byla vytvořena tabulka 1, kde jsou činnosti na jednotlivých stanicích popsány podrobněji, než je tomu v předchozí kapitole. Lze si všimnout, že převážná většina stanic je robotizována a pracovníci se nacházejí pouze na dvou stanicích.

Tabulka 1: Přehled činností na daných stanicích

Linky	Stanice	Popis činnosti	Roboti x pracovníci
L2/1	2110	Nanášení lepidla na karoserii, robotické odebírání vnějších rámců z dopravníku a nasazení na karoserii	Roboti
L2/1	2120	Kontrola deformací a ruční belhofování	Pracovníci
L2/1	2130	Framer – připevnění vnějších rámců bodovými svary, udání přesných rozměrů karoserie	Roboti
L2/1	2140	Fixace vnějších rámců ke karoserii pomocí bodových svarů	Roboti
L2/2	2210	Fixace vnějších rámců ke karoserii pomocí bodových svarů, nanášení lepidla na potřebná místa	Roboti
L2/2	2220	Bodové svařování, vytváření potřebných otvorů prostřednictvím děrovačky	Roboti
L2/2	2230	Bodové svařování	Roboti
L3	3010	Nanášení lepidla na horní část karoserie, vyjmutí střechy z věže greiferem a položení střechy na karoserii	Roboti
L3	3020	Laserová kabina – fixace střechy ke karoserii pomocí laserového pájení, bodové svařování	Roboti
L3	3030	Broušení laserového svaru	Roboti
L4	4010	Broušení laserového svaru + kontrola kvality svaru	Pracovníci
L4	4020	MIG svařování	Roboti
L4	4030	Vyjmutí zadního čela ze zásobníku greiferem a připevnění ke karoserii bodovým svařováním, nanášení lepidla na potřebná místa	Roboti
L4	4040	Připevňování tuckerů na zadní část karoserie pro přišroubování nárazníku, bodové svařování	Roboti

## 10.2 Práce s daty

Data, s nimiž bylo v analytické části pracováno, byla sbírána v průběhu dvou měsíců. Jelikož se jednalo o veliké množství dat, došlo ke zúžení souboru pomocí náhodného výběru prostřednictvím MS Excel. Ke sběru dat docházelo vždy celý den, tudíž data obsahují informace z celého třisměnného cyklu.

Po vytvoření souboru s takto sesbíranými a náhodně vybranými daty bylo zapotřebí odstranit chybná a neúčinná data. To bylo provedeno za účelem získání dat s lepší vypovídající schopností.

U taktů stanic nezahrnujeme do výpočtů hodnoty, u jakých došlo k chybnému zaznamenání času, konkrétně hodnoty do 2 sekund, protože samotný přejezd karoserie z jedné stanice na druhou trvá 2,5 sekundy, a hodnoty nad 120 sekund, které vypovídají o poruše ve výrobním systému. Obdobným způsobem je filtrován i takt čekání. Opět jsou odstraněny hodnoty přesahující 120 sekund.

### 10.3 Analýza

Podnik používá pro vytváření reportů a statistických analýz namísto průměrných hodnot hodnotu mediánu. Je to dáno skutečností, že medián není ovlivněný extrémními hodnotami v souboru. V případě, že dochází k měření taktů ve výrobním procesu, jedná se o vhodněji zvolenou charakteristiku.

V tabulce 2 jsou vypočítány a přehledně znázorněny mediány taktů jednotlivých stanic a vymezeny limity taktů. Dále je určen takt karoserie, který je dán následujícím vztahem:

$$O_i^{(t)} = P_i^{(t)} + W_i^{(t)} \quad (3)$$

Kde:

$O_i^{(t)}$  – takt karoserie na i-té stanici [s]

$P_i^{(t)}$  – takt stanice na i-té stanici [s]

$W_i^{(t)}$  – takt čekání na i-té stanici [s]

Existuje více faktorů, podle nichž se mohou optimalizovat takty výrobního procesu, práce se zaměřuje na faktor plýtvání časem z hlediska čekání. Při čekání totiž vznikají náklady, které nepřinášejí produktu a zákazníkovi žádnou přidanou hodnotu, a proto je vhodné je eliminovat na minimum. Plýtvání časem je též

stanoveno v tabulce 2. Při stanovování plýtvání časem na jednotlivých pracovištích je použita tato rovnice:

$$L_i^{(t)} = \frac{W_i^{(t)}}{O_i^{(t)}} \times 100 \quad (4)$$

Kde:

$L_i^{(t)}$  – plýtvání časem na i-té stanici [%]

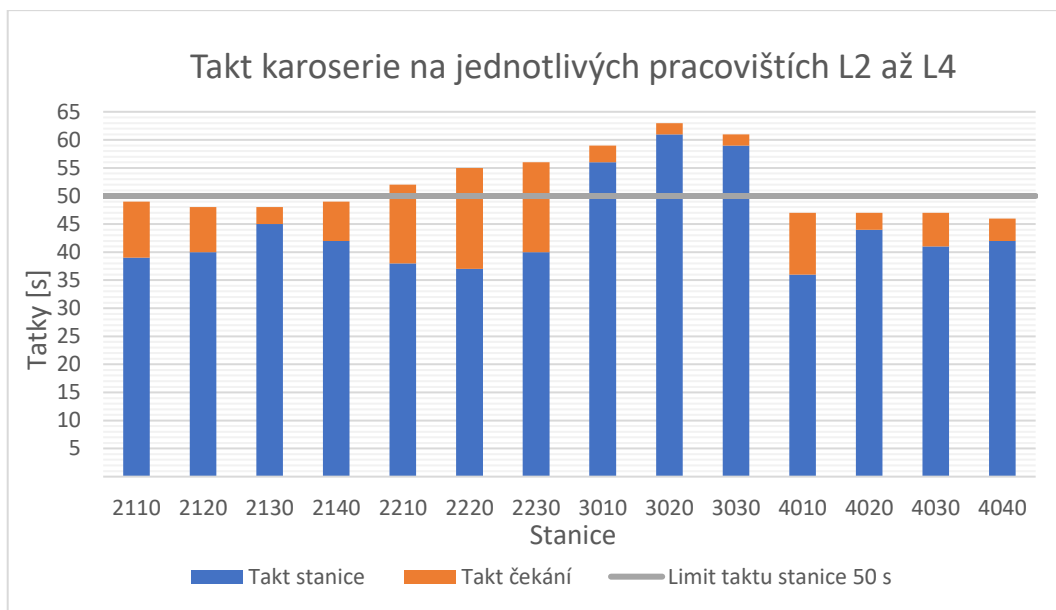
$W_i^{(t)}$  – takt čekání na i-té stanici [s]

$O_i^{(t)}$  – takt karoserie na i-té stanici [s]

Tabulka 2: Výpočet taktů jednotlivých stanic

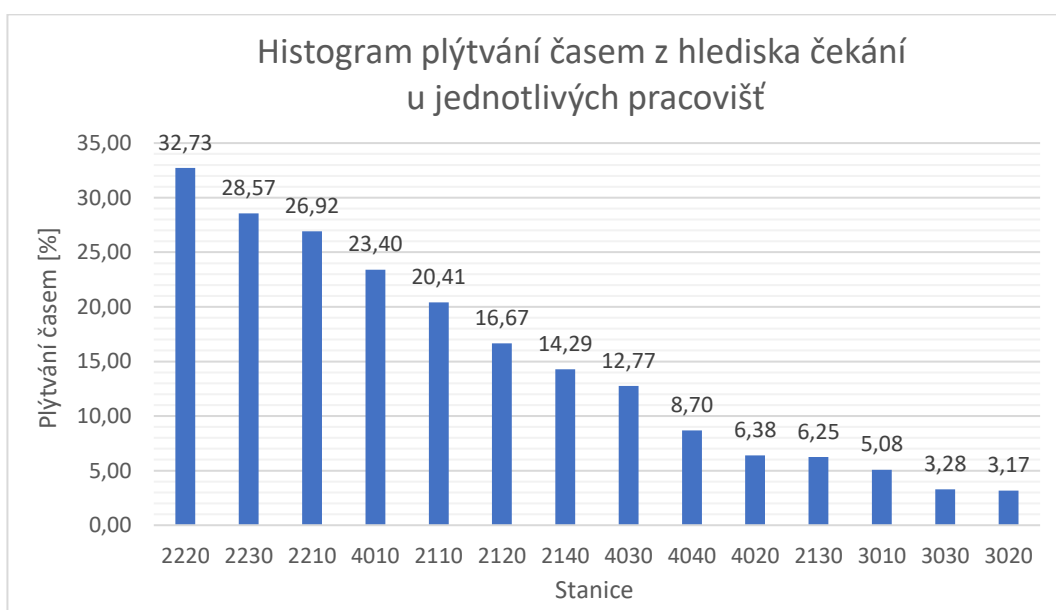
Linka	Stanice	Takt stanice [s]	Limit taktu stanice [s]	Takt čekání [s]	Limit taktu čekání [s]	Takt karoserie [s]	Plýtvání časem z hlediska čekání [%]	Pořadí plýtvání	Možnosti zvýšení kapacity pracoviště
L2/1	2110	39	50	10	10	49	20,41	5	ano
L2/1	2120	40	50	8	10	48	16,67	6	ano
L2/1	2130	45	50	3	10	48	6,25	11	ano
L2/1	2140	42	50	7	10	49	14,29	7	ano
L2/2	2210	38	50	14	10	52	26,92	3	ano
L2/2	2220	37	50	18	10	55	32,73	1	ano
L2/2	2230	40	50	16	10	56	28,57	2	ano
L3	3010	56	50	3	10	59	5,08	12	ne
L3	3020	61	50	2	10	63	3,17	14	ne
L3	3030	59	50	2	10	61	3,28	13	ne
L4	4010	36	50	11	10	47	23,40	4	ano
L4	4020	44	50	3	10	47	6,38	10	ano
L4	4030	41	50	6	10	47	12,77	8	ano
L4	4050	42	50	4	10	46	8,70	9	ano

Z tabulky 2 vyplývá, že linka L3 překročila stanovený limit taktu stanice a linka L2/2 a stanice 4010 naopak překročily takt čekání. Na grafu 1 lze vidět i grafické znázornění taktů stanic a taktů čekání.



*Graf 1: Takt karoserie na jednotlivých stanicích*

Na histogramu, graf 2, je vyobrazeno grafické znázornění plýtvání časem z hlediska čekání na jednotlivých stanicích. Největší podíl poměru mezi taktem čekání a taktem karoserie představují především pracoviště 2220, 2230 a 2210. Jak již bylo řečeno, tato pracoviště jsou plně robotizována a převážně zde dochází k fixaci vnějšího rámu prostřednictvím bodového svařování. Naopak k nejmenšímu plýtvání časem z hlediska čekání dochází na pracovištích 3010, 3030 a 3020.



*Graf 2: Histogram plýtvání časem z hlediska čekání u jednotlivých pracovišť*

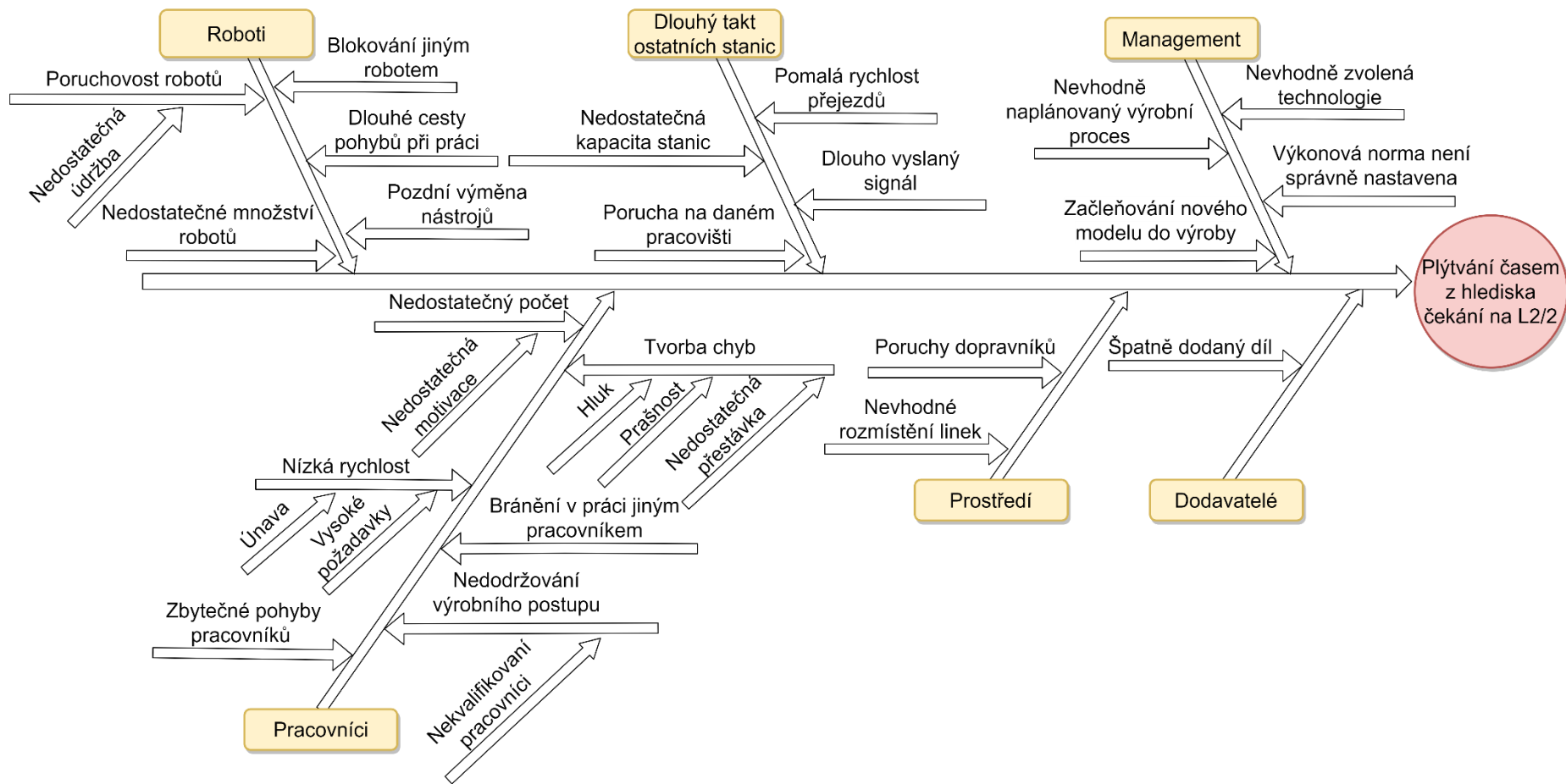
Jak bylo možné vidět na obrázku 7 (Podrobnější procesní mapa linek L2, L3 a L4), linka L2/2 s nejvyšším podílem plýtvání časem z hlediska čekání se nachází přímo před linkou L3, která nesplňuje stanovený limit taktu stanice. Vzhledem ke skutečnosti, že ukazatel plýtvání časem z hlediska čekání je ve stanicích linky L3 nejnižší, je možné se domnívat, že právě stanice 3010, 3020 a 3030 budou představovat úzké místo v dané části výrobního procesu a budou příčinou plýtvání časem vlivem čekání ve stanicích linky L2/2.

Z tohoto důvodu je vhodné se při optimalizaci taktu ve svařovně zaměřit na identifikování příčin, jež vysoký takt čekání ve stanicích 2010, 2020 a 2030 způsobují.

Na určení možných příčin plýtvání časem z hlediska čekání na lince L2/2 byl aplikován jeden ze sedmi základních nástrojů managementu kvality, a tím je Ishikawův diagram.

Ishikawův diagram neboli Diagram rybí kost byl sestaven tak, že jednotlivé příčiny byly nejprve sepsány a až poté seskupeny dle charakteristických rysů do skupin. Posléze jednotlivé skupiny získaly výstižný název kategorie.

Sestavení a návrh diagramu byl prodiskutován s vedením firmy a finální diagram si lze prohlédnout na obrázku 8. Příčiny řešeného problému jsou rozděleny do šesti hlavních kategorií – roboti, management, dlouhý takt ostatních stanic, pracovníci, prostředí a dodavatelé.



Obrázek 8: Ishikawův diagram

Po vytvoření Ishikawova diagramu bylo zapotřebí vyhodnotit míru závažnosti jednotlivých příčin. K tomu bylo použito znalosti Paretovy analýzy.

Závažnost k jednotlivým příčinám byla přiřazována s ohledem na výrobní proces a na základě potřeb a preferencí podniku. Souhrnný přehled závažností příčin je možné vidět v tabulce 3.

V Ishikawově diagramu si lze všimnout, že nejvíce příčin vzniku daného problému, způsobují pracovníci. Jelikož je ale linka L3 plně robotizována a pracovníci do výrobního procesu zasahují jen zřídka, závažnost těchto příčin není vysoká. Naopak závažnější příčiny jsou způsobovány roboty či dlouhým taktem ostatních stanic.

Tabulka 3: Určení závažnosti jednotlivých příčin

Druh příčiny	Příčina	Závažnost	Celková výše závažnosti
Management	Začleňování nového modelu do výroby	30	173
	Výrobní proces není aktualizován	65	
	Výkonová norma špatně nastavena	33	
	Nevhodně zvolená technologie	45	
Dodavatelé	Špatně dodaný díl	23	23
Pracovníci	Nedostatečný počet pracovníků	17	157
	Zbytečné pohyby pracovníků	70	
	Nízká rychlost	10	
	Tvorba chyb	15	
	Bránění v práci jiným pracovníkem	20	
	Nedodržování výrobního postupu	25	
Prostředí	Poruchy dopravníků	35	75
	Nevhodné rozmístění linek	40	
Dlouhý takt ostatních stanic	Nedostatečná kapacita stanic	100	295
	Porucha na daném pracovišti	85	
	Dlouho vyslaný signál	60	
	Nízká rychlost přejezdů	50	
Robot	Blokování jiným robotem	55	395
	Pozdní výměna nástroje	75	
	Dlouhé dráhy pohybů při práci	80	
	Poruchovost robotů	90	
	Nedostatečné množství robotů	95	



Dále bylo nutné pro vytvoření Paretovy analýzy určit z absolutní závažnosti relativní závažnost. Ta se určí pomocí následujícího vztahu.

$$R_j^{(v)} = \frac{A_j^{(v)}}{\sum_{j=1}^n A_j^{(v)}} \times 100 \quad (5)$$

Kde:

$R_j^{(v)}$  – relativní závažnost j-té příčiny [%]

$A_j^{(v)}$  – absolutní závažnost j-té příčiny [-]

$n$  – celkový počet sledovaných příčin

Relativní závažnost též poslouží pro určení kumulativní relativní závažnosti. Pro stanovení kumulativní relativní závažnosti jsou užity rovnice 6 a 7:

pro  $j = 1$

$$KR_j^{(v)} = R_j^{(v)} \quad (6)$$

Kde:

$KR_j^{(v)}$  – kumulativní relativní závažnost j-té příčiny [%]

$R_j^{(v)}$  – relativní závažnost j-té příčiny [%]

pro  $j > 1$

$$KR_{j+1}^{(v)} = KR_j^{(v)} + R_{j+1}^{(v)} \quad (7)$$

Kde:

$KR_{j+1}^{(v)}$  – kumulativní relativní závažnost j+1-té příčiny [%]

$KR_j^{(v)}$  – kumulativní relativní závažnost j-té příčiny [%]

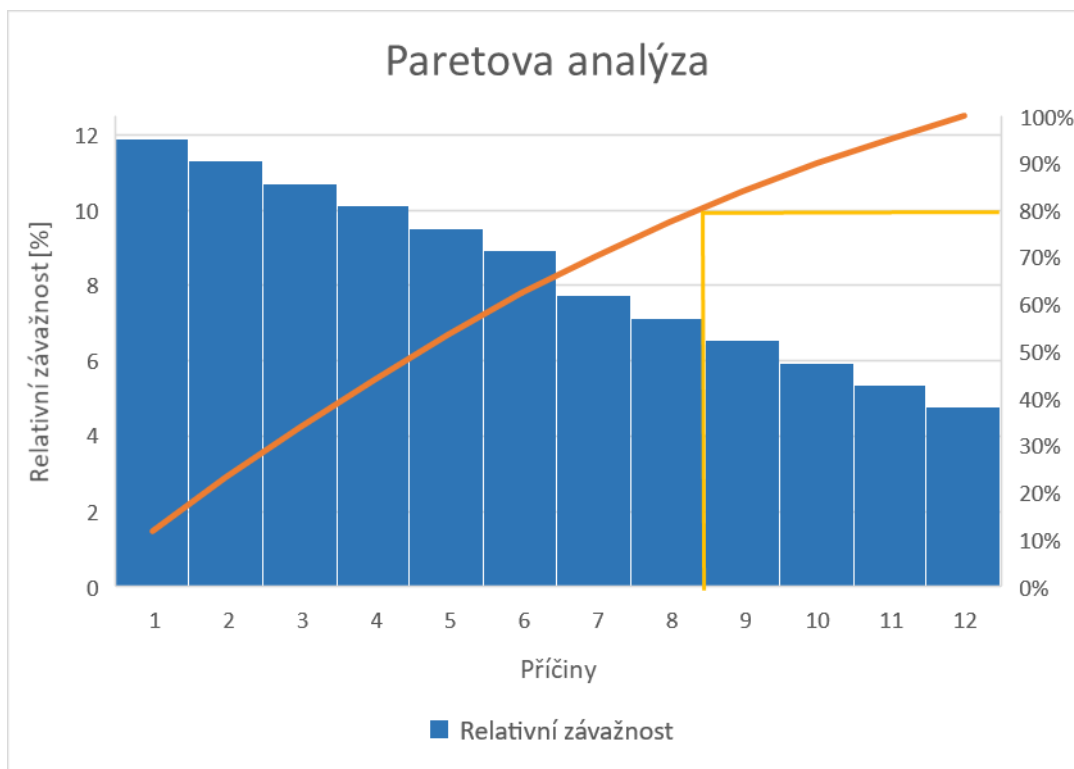
$R_{j+1}^{(v)}$  – relativní závažnost j+1-té příčiny [%]

Pro efektivní identifikaci příčin vyvolávající plýtvání časem způsobené čekáním na lince L2/2, byly pro Paretovu analýzu vybrány jen ty nejzávažnější. Jedná se především o příčiny způsobované roboty. Selektce příčin probíhala ve spolupráci s odborným managementem podniku. V největší míře jsou v tabulce 4 zastoupeny příčiny vyvolané roboty či dlouhými takty ostatních stanic (zejména stanicí L3). Ke stanovení relativní závažnosti a kumulativní relativní závažnosti u jednotlivých příčin došlo na základě rovnic 5-7.

Tabulka 4: Určení relativní a kumulativní závažnosti

	Příčiny	Absolutní závažnost	Relativní závažnost	Kumulativní relativní závažnost
1	Nedostatečná kapacita stanic	100	11,90	11,90
2	Nedostatečné množství robotů	95	11,31	23,21
3	Poruchovost robotů	90	10,71	33,93
4	Porucha na daném pracovišti	85	10,12	44,05
5	Dlouhé dráhy pohybů robotů	80	9,52	53,57
6	Pozdní výměna nástroje	75	8,93	62,50
7	Výrobní proces není aktualizován	65	7,74	70,24
8	Dlouho vyslaný signál	60	7,14	77,38
9	Blokování jiným robotem	55	6,55	83,93
10	Nízká rychlost přejezdů	50	5,95	89,88
11	Nevhodně zvolená technologie	45	5,36	95,24
12	Nevhodné rozmístění linek	40	4,76	100,00

Grafické znázornění vypočítaných hodnot a vyobrazení Paretovy analýzy je možné vidět níže na grafu 3.



*Graf 3: Paretova analýza*

Vyobrazená Paretova analýza zobrazuje dvanáct příčin, které mohou způsobovat plýtvání časem na stanicích 2210, 2220 a 2230. Relativní závažnosti jednotlivých příčin jsou znázorněny jako modré sloupce a jsou seřazeny od nejvýznamnějších příčin po ty méně významné. Dále je v grafu vyobrazena Lorenzova křivka (oranžová křivka), která představuje kumulativní relativní četnost.

S Paretovou analýzou se pojí i Paretovo pravidlo, jež nám říká, že pokud odstraníme 20 % příčin, odstraníme tak 80 % všech neshod ve výrobním systému. V našem případě by to znamenalo odstranit prvních osm příčin.

Za nejzávažnější příčinu plýtvání časem na lince L2/2 je považována nedostatečná kapacita následujících stanic. Z tabulky 2 a obrázku 8 lze vyčíst, že nedostatečná kapacita se vyskytuje na stanicích 3010, 3020 a 3030. To vyplývá z faktu, že limit taktu stanice je zde převyšeno, a zároveň se na těchto pracovištích objevuje velmi nízký takt čekání – zpravidla do tří sekund. Tyto tři sekundy jsou způsobeny odesláním signálu do systému s informací o dokončení práce a následným vysláním signálu o přikázání přejezdu karoserie na další stanici.

Další závažnou příčinou našeho problému je nedostatečné množství robotů ve stanici. Znamená to, že roboti vykovávají svou práci příliš dlouho a zdržují tím ostatní stanice. Tento problém se řeší přesunutím pracovní činnosti na obdobnou stanici, kde roboti vykonávají časově nenáročnou práci, přidáním robota nového nebo rozdělením práce mezi více robotů. V některých případech však není možné přesunout nebo rozdělit pracovní operaci mezi více robotů z důvodu malého místa ve stanicích či kvůli technologickému postupu.

Poruchovost robotů společně s poruchovostí na daném pracovišti představuje další možnost způsobující plýtvání časem na lince L2/2. Poruchám jde v některých případech předcházet preventivními kontrolami stavů. Některé poruchy však mohou být způsobeny jinými faktory, jímž lze předcházet hůře. Může jít o poruchy způsobené nekvalitním přídavným materiálem, způsobené špatným podáním přídavného materiálu, nečistotou svářeného materiálu, poškozeným nástrojem, přehřátím robotové skříně apod.

Ve výrobním procesu se klade veliký důraz na to, aby pracovní dráhy robotů byly co nejkratší, přímočaré a plynulé. Vytvoření takto hladkých drah není jednoduché, ale přináší značnou úsporu času.

Další zdržení, jež může ve výrobním procesu nastat, je pozdní výměna nástroje robota. Ve výrobním procesu dochází k vyslání signálu k robotovi s informací o dané karoserii a on si dle této informace zvolí vhodný typ nástroje. Potíž nastává ve chvíli, kdy karoserie automobilu přijede do stanice a robot místo toho, aby začal vykonávat činnosti zvyšující hodnotu produktu, jede vyměňovat nástroj. V ideálním případě by měl být signál vyslán již z předchozí stanice, aby se roboti stihli na daný typ karoserie připravit místo taktu čekání či v průběhu přejezdu karoserie z jedné stanice do druhé. Přestože jedna výměna nástroje zabere jen pár sekund, odstraněním tohoto nedostatku by došlo ke snížení taktu stanice.

Plýtvání časem může také způsobovat začleňování nového modelu do výrobního procesu. Přestože integrace do staré linky probíhá pozvolna a v době mimo pracovní dobu, po ozkoušení nastává postupné zařazování nového modelu do výrobního procesu. Současně vzhledem ke kapacitním možnostem dochází

k nahrazování starého modelu novým. Než tedy dojde ke kompletní integraci výrobního procesu, není výrobní proces zcela aktualizován. Dochází většinou k výrobě menšího množství kusů, než je požadováno, a to v důsledku zařazování nových robotů, změny uskupení stanic, řešení problémů apod. Výrobní proces se ovšem během krátké chvíle odladí a ustálí.

Dlouho vyslaný signál nekomplikuje jen výměny nástrojů, ale také může docházet k jeho pozdnímu vyslání v případě vyžádání určité karoserie ze zásobníku na určitou stanici. Mezi další komplikace patří poslání karoserie ze stanice do následující stanice či pozdě vyslaný signál vybízející robota k práci.

Další možnou příčinou způsobující plýtvání časem je blokování jednoho robota jiným robotem. K tomu dochází ve stanicích, kde pracuje na malém prostoru více robotů najednou. Většinou se na těchto stanicích nacházejí roboti s odlišnými nástroji.

I příliš nízká rychlost přejezdů může způsobovat plýtvání časem. V místech, kde to lze, by měla být rychlost dopravníku vyšší, aby docházelo k rychlejšímu přemístování karoserie na požadované místo.

Předposlední příčinou, která bude probrána podrobněji, je nevhodně zvolená technologie. V některých případech by mohla změna technologie významně uspořit čas potřebný pro výkon dané operace. Ovšem zvolená technologie je často ovlivňována kvalitou vykonávané činnosti nebo estetickým dojmem.

Jelikož prostor, v němž se vyrábí, je omezený, jednotlivé linky a stanice nemůžou jít vždy za sebou. Tuto situaci řeší dopravníky a zvedáky, které vyzvednou karoserii automobilu do zásobníku nad linku. Tady dochází k přemístění na požadované místo, kde je opět pomocí dopravníku karoserie přichystána na vstup do následující linky. Pokud na sebe linky plynule navazují, v případě nedostatku karoserií v zásobníku daná karoserie vůbec neputuje do zásobníku, ale plynule pokračuje na následující linku. Když na sebe linky nenavazují a zásobník je prázdný, přejezd karoserie může trvat příliš dlouho, což znovu způsobuje čekání na následujících pracovištích.

Některé příčiny způsobující plýtvání časem na lince L2/2 mohou trvat řádově pouze sekundy a lze je považovat za banální. Jejich četnost však způsobí celkově velké časové ztráty.

## 10.4 Závěr části analyzování

Analytická část této práce se zaměřovala především na důkladné porozumění výrobního procesu. Porozumění je klíčem ke korektnímu navržení vhodných metod pro analyzování výrobního procesu a pro následné navrhování opatření.

Analyzováním došlo k odhalení příčin problému, které představují plýtvání časem z hlediska čekání na lince L2/2. Příčiny tohoto plýtvání jsou způsobeny následujícími pracovišti, a to zejména stanicemi 3010, 3020 a 3030. Zmíněné stanice linky L3 nedodrží stanovený limit, a proto dochází k blokování výrobků na těchto pracovištích.

Po důkladném rozboru jednotlivých příčin způsobující plýtvání časem z hlediska čekání na lince L2/2 pomocí Ishikawova diagramu a Paretovy analýzy, bylo s vedením podniku rozhodnuto, že největší přínos přinese zpracování návrhu na odstranění nedostatečné kapacity stanic linky L3. Toto rozhodnutí zohledňuje i aktuální potřeby podniku a budoucí cíle, jakých chce firma, potažmo svařovna, docílit.

## NÁVRHOVÁ ČÁST

Jak již bylo nastíněno v předchozí kapitole, nedostatečná výrobní kapacita postihuje stanice 3010, 3020 a 3030. Odstraněním nedostatků z těchto pracovišť dojde ke snížení taktu celé svařovny, neboť takt stanic linky L3 se sníží, a zároveň dojde i ke snížení taktu čekání u linky L2/2 a jejich stanic.

Kapacita na těchto stanicích dříve stačila, jelikož byly vyráběny jiné typy modelů v jiných poměrech. Předchozí modely byly velikostně menší, tudíž čas strávený ve stanicích linky L3 i podstatně nižší.

Model A představuje menší vůz s méně úložným prostorem oproti combi verzi, kterým je model B. Model B má tedy vyšší časové nároky na výrobu než model A. Model C je rodinný vůz, jenž je veliký, prostorný a jeho střecha největší. Rodinný vůz má časově vyšší požadavky na všech třech stanicích oproti ostatním modelům. Toto tvrzení verifikuje i tabulka 5, v níž jsou uvedeny vypočítané mediány taktu stanic pro jednotlivé modely a jednotlivé stanice linky L3.

Tabulka 5: Mediány taktu stanic na L3 v [s]

Typ/ Pracoviště	3010	3020	3030
Model A	47	52	53
Model B	56	61	59
Model C	64	64	60

Momentálně se na svařovně vyrábí 1 000 kusů denně a jednotlivé modely jsou vyráběny v poměru 2:5:1 (model A:B:C).

Při hledání vhodného návrhu na odstranění nedostatečné kapacity stanic bylo přihlíženo i k faktu, že podnik chce nejen navýšit celkovou možnou kapacitu svařovny, ale také navýšit výrobu modelu C v důsledku stále rostoucí poptávky po tomto modelu. Musí tedy dojít ke změně poměrů mezi jednotlivými modely, a to na poměr 1:3:1 (model A:B:C). Výroba modelu B zůstane stále nejvyšší, ale zvýší se výroba modelu C na úkor modelu A.

Dalším rozhodujícím faktorem je skutečnost, že stávající laserová kabina (stanice 3020) už nejde nijak výrazně optimalizovat. Přidat dalšího robota, který by vytvářel laserový svar, z technologického hlediska nelze. Svar musí být plynulý, úhledný, čistý a nepřerušovaný. Zrychlení robotů, jež provádějí tento svar, také nepřichází v úvahu, protože je kladen velký důraz na kvalitu a vzhled. Jedinou možností, která by dokázala snížit takt robotů a potažmo i celé stanice, je vyladění drah robotů na hladké a přímočaré cesty. To se však v minulosti provádělo tolikrát, že k velikým úsporám času bohužel nedojde.

S přihlédnutím na výše uvedené skutečnosti se nejlepším řešením jeví vytvoření nové stanice s laserovou komorou, jež bude totožná s tou stávající. Tím se docílí navýšení výrobní kapacity této úzké části výrobního toku. Jelikož i dosavadní kapacita ostatních stanic (3010 a 3030) je v tuto chvíli nedostačující a větší nápor karoserií nezvládne, nejoptimálnějším řešením je vytvořit tato pracoviště nové. Dojde tedy k navržení nové linky L3/2 a u stávající linky se upraví označení z L3 na L3/1.

## 11 Fáze zlepšování

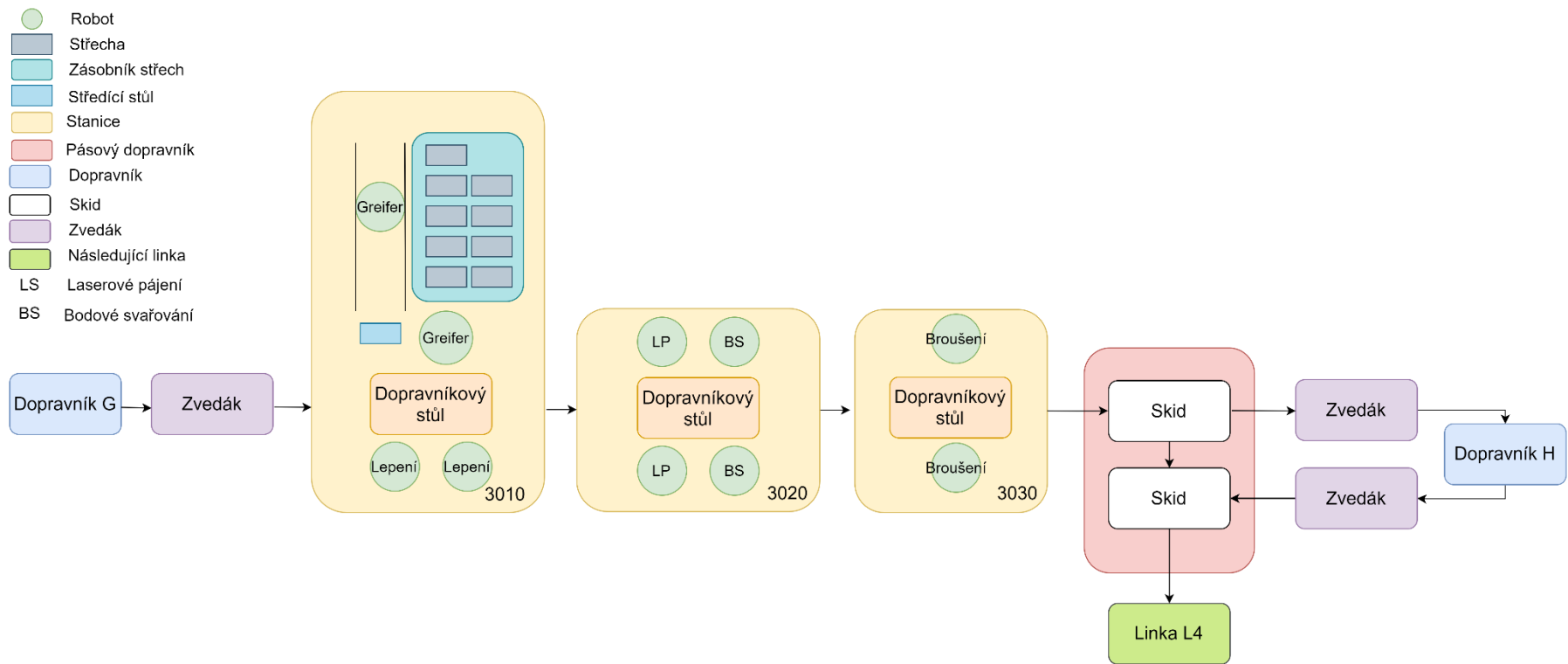
Tato část diplomové práce se zaměřuje na vymezení veškerých nákladů, které jsou spojené s navrhováním nových stanic. Pro zachování kompatibility stanic a všech modelům, navrhované stanice zůstanou totožné s těmi, jež se v podniku nacházejí. Po stanovení všech nákladů, jaké s touto investicí souvisejí, dojde ke zhodnocení investice.

Pro správné určení položek, které jsou s rozšířením stanic spojené, je vyobrazeno schéma současného stavu linky L3/1 (obrázek 9) a navrhovaného stavu linky L3/2 (obrázek 10).

Obrázek 9 zachycuje současné uspořádání výrobního procesu na lince L3/1. Karoserie usazená na skidu putuje po válečkovém dopravníku z linky L2/2 na dopravník G, který současně slouží i jako zásobník. Jelikož se ale tento zásobník nachází v patře, je nutné dopravit karoserii na linku L3/1 pomocí zvedáku.

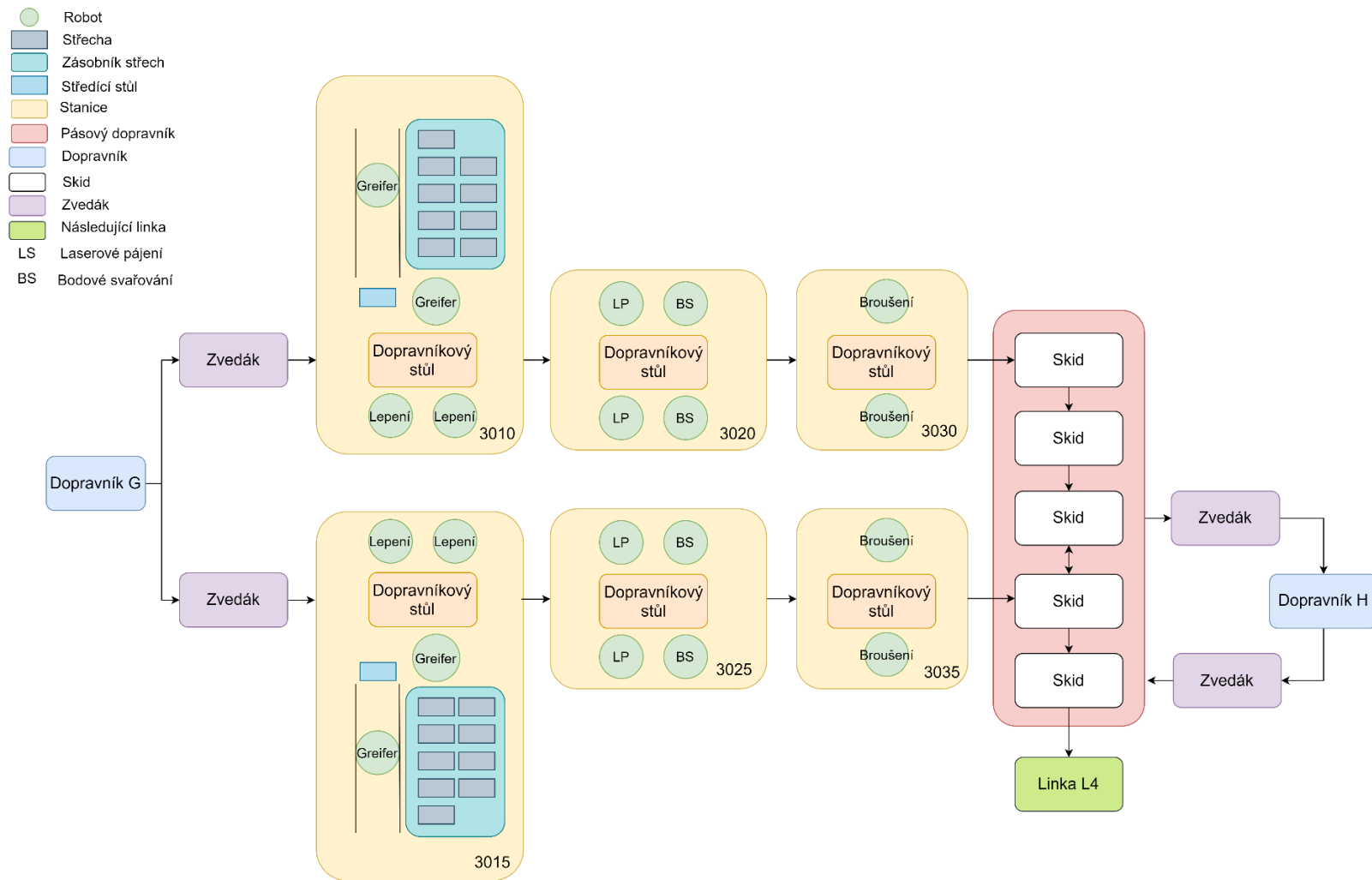


Ze zvedáku putuje karoserie rovnou do stanice 3010, odkud pokračuje do stanic 3020 a 3030. Za stanicí 3030 se nachází pásový dopravník, jenž má kapacitu dvou karoserií, odkud karoserie může, v případě prázdného dopravníku H, rovnou pokračovat na linku L4. Jestliže je kapacita linky L4 vyčerpána, přejíždí karoserie pomocí zvedáku do dopravníku H, který rovněž slouží jako zásobník. Když dojde k uvolnění kapacity na lince L4, potažmo na pásovém dopravníku, zvedák dostane pokyn k dopravení karoserie na tento pásový dopravník, odkud bude karoserie pokračovat dále.



Obrázek 9: Současný layout linky L3/1

Navrhovaný layout linek L3/1 a L3/2 je vyobrazen na obrázku 10. Některé prostory linky L3/1 zůstanou nezměněné, některé naopak musejí projít úpravami. To je příklad dopravník H, z něhož bude vybudován druhý výstup, neboť jeden z nich vede do stávajících stanic linky L3/1 a druhý posílá karoserie do nové části linky L3/2. Ze zvedáku putují karoserie stejným způsobem, který je popsán u obrázku 9. To znamená, že hodnota karoserií je zvyšována sekvenčně ve stanicích 3010, 3020 a 3030, respektive ve stanicích 3015, 3025 a 3035. Na výstupu ze stanic 3030 a 3035 se nachází i nadále pásový dopravník, jenž je rozšířen na kapacitu pěti karoserií. Pásový dopravník společně s dopravníkem H funguje stále na stejném principu. Dojde-li k vyčerpání kapacity na lince L4 i na pásovém dopravníku, všechny karoserie budou odkloněné do zásobníku H, kde dle metody FIFO čekají na uvolnění kapacity.



Obrázek 10: Navrhovaný layout linek L3/1 a L3/2

## 11.1 Stanice 3015

Ve stanici 3015 dochází k vyjmutí střechy z kontejnerové věže a k nanesení lepidla na střechu i na potřebné části karoserie. Poslední pracovní operací je umístění střechy na karoserii automobilu. Vyrábějí se zde tři modely, z toho každý model může mít tři varianty střech.

Práci vykonávají čtyři roboti, přičemž dva využívají pro práci nástroj greifer a dva nástroj na nanášení lepidla. Dále tu ještě nalezneme stojan pro stacionární aplikaci lepidla. Ta se provádí přímo na střechu za pomoci nástroje greifer, jenž drží střechu a vykonává pohyb potřebný pro aplikaci.

Robot s greiferem, který vyjímá střechy z kontejnerové věže, musí pro lepší manipulaci disponovat pojezdem. Předání střechy mezi jedním greiferem, jenž ji vyjme z věže a druhým greiferem, pomocí kterého dochází k aplikaci lepidla na střechu a následnému položení střechy na karoserii, dochází zásluhou středícího stolu. Ten zajistí přesnou polohu při odebrání dílu včetně přesného nanesení lepidla a následného správného založení střechy na karoserii vozu.

Na pracovišti se nachází dopravníkový stůl se středícími kolíky a s válečkovým dopravníkem, který zajišťuje pohyb karoserie mezi jednotlivými stanicemi. Dopravníkový stůl pohybuje karoserií nahoru, dolů a dopředu, zatímco středící kolíky slouží k udání přesné pozice karoserie potřebné pro vykonávání předepsaných činností.

Pracoviště musí obsahovat také prvky, jež hlídají správnost celého procesu a dbají na dodržování ochrany zdraví zaměstnanců, kteří provádějí údržbu. To vše je na pracovišti zajišťováno laserovým scannerem nebo monitoringem procesu.

Sběr dat ve stanici a jejich odesílání do uložení má na starosti PLC skříň. Pro přesnou aplikaci musí na pracovišti docházet i ke kalibraci nástrojů. K tomu slouží TPC neboli referenční bod.

Požizovací náklady na tuto stanici jsou samozřejmě spojeny i s programováním celého výrobního procesu. Další část nákladů je také tvořena menšími, ale velmi

důležitými položkami, jako je například osvětlení, výstupní a vstupní kolejnice a kamera potřebná pro čtení identifikačních štítků karoserie.

V neposlední řadě se musí do pořizovacích nákladů započítat i práce spojené s přípravou pracoviště a náklady na zdroj, spojovací kabely a svazky.

Celkové náklady na jednotlivé položky v sobě zahrnují nejen náklady spojené s nakoupením či pořízením položek, ale také náklady spojené s instalací, montáží, dopravou, zakázkovou výrobou apod. Jejich výše byla stanovena na 22 072 745 Kč.

Rozpis nákladů spojených s konkrétními položkami je možné si prohlédnout v tabulce 6.

Tabulka 6: Náklady na pořízení stanice 3015

Položka	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Robot – greifer s pojezdem	725 990	1	725 990
Robot – greifer	480 860	1	480 860
Robot – lepení	700 500	2	1 401 000
Greifer	381 750	2	763 500
Stojan pro stacionární aplikaci	33 950	1	33 950
Nanášecí hlava	763 500	2	1 527 000
Kontejnerová věž	10 879 900	1	10 879 900
Středící stůl	848 480	1	848 480
Dopravníkový stůl	1 340 200	1	1 340 200
Monitorování procesu	969 400	1	969 400
PLC skříň	95 400	1	95 400
Laserový scanner	138 290	2	276 580
TCP bod	23 340	2	46 680
Vstupní / výstupní kolejnice pro výměnu robotů	40 750	4	163 000
Kamera	164 780	1	164 780
Programování	1 074 520	1	1 074 520
Osvětlení	62 670	1	62 670
Elektrický zdroj, svazky, propojovací kabely	275 410	1	275 410
Pneumatický systém	160 250	1	160 250
Příprava pracoviště	783 175	1	783 175
<b>Celkové náklady</b>			<b>22 072 745</b>

Kompletní tabulku i s využitím jednotlivých položek je možné vidět v příloze 1.

Jak bude navrhovaná stanice 3015 vypadat, je možné vidět na obrázku 11. V popředí greifer najíždí se střechou ke stojanu pro stacionární aplikaci lepidla, kterou posléze položí na karoserii.



Obrázek 11: Navrhovaná stanice 3015 [7]

## 11.2 Stanice 3025

Stanice 3025 je naprosto totožná s již existující stanicí 3020. V této laserové kabině dochází k fixaci střechy ke karoserii vozu prostřednictvím laserového pájení a vytváří se tu potřebné bodové svary na přední části karoserie. Aby bylo možné vyčíslit náklady spojené s investicí na tomto pracovišti, je nutné nejprve jednotlivé položky znát.

Na pracovišti se opět nachází dopravníkový stůl se středícími kolíky, kam dosedá skid s karoserií. Laserový svar provádějí dva roboti, již jsou opatřeny adaptivní laserovou hlavou včetně podavače drátu. Při fixaci střechy karoserie je nezbytné, aby byla střecha ke karoserii pevně uchycena. To zajišťuje přípravek na střechy, který je přichycený v upínací technologii. Jelikož se budou v této kabině vyrábět tři modely karoserie, musí být pro každý model speciální přípravek, jenž zajistí

přesnou fixaci střechy. Samotné přitlačení přípravku na střechu zajišťuje pneumatický systém.

Práci zde vykonávají dva roboti se svařovacími kleštěmi. Roboti musejí být pokryti ochrannými kryty, aby nedocházelo k jejich poškození jiskrami. Další nezbytnost pracoviště představuje stojanová frézka. Ta se používá k očištění kontaktů robotických kleští od napečenin a nečistot. Pokud dojde k ofrézování kontaktů, je nezbytné, aby si robot svůj nástroj zkalibroval pomocí TPC bodu.

Díky laserové technologii musí být celá stanice v kabině, které má speciální opláštění – nepropouští laserové záření. Nepropustnost kabiny je pravidelně kontrolována optickým senzorem. Konstrukce kabiny musí obsahovat kolejnice pro případnou výměnu robotů.

Důležitý je také zdroj kabiny, PLC skříň a monitoring procesu, v němž dochází k hlídání napětí, kontrole zvedání dopravníkového stolu, měření výkonu laseru apod. Veškerý monitoring vede k zajištění nejvyšší kvality prováděných činností.

Nutností je mít v celé kabině odsávací systém, jenž odvede zplodiny z uzavřeného prostoru ven. Nemalou položkou v nákladech též představuje programování robotů i celého procesu stanice (včetně dopravníků, předností ve vyjíždění, cesty jiných robotů apod.).

Ke kontrole procesu obsluhou slouží kamera umístěná uvnitř kabiny. Vše se promítá na obrazovce, která je upevněna na vnější straně kabiny.

Při vyčíslování nákladů se nesmí samozřejmě zapomenout ani na osvětlení celé kabiny, požární alarm a na náklady spojené se svazky a propojovacími kabeley.

Vyčíslení jednotlivých položek je možné vidět v tabulce 7, podrobnější popis lze najít v příloze 2. Celkové náklady výstavby stanice 3025 jsou stanoveny na 40 886 890 Kč. Náklady zahrnují, stejně jako u předchozího pracoviště, i náklady spojené s dopravou, instalací, montáží apod.



Tabulka 7: Náklady na pořízení stanice 3025

Položka	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Robot – laserové pájení	714 750	2	1 429 500
Robot – bodové svařování	723 970	2	1 447 940
Svařovací kleště	489 740	2	979 480
Adaptivní laserová hlava	3 642 780	2	7 285 560
Laserový posuv studeného drátu	651 490	2	1 302 980
Upínací technologie	650 880	3	1 952 640
Přípravek na střechy	1 826 190	1	1 826 190
Pneumatický systém	160 250	1	160 250
Stojanová frézka	192 780	2	385 560
TCP bod	23 340	2	46 680
Kabina	4 750 000	1	4 750 000
Optický senzor	2 496 100	1	2 496 100
Dopravníkový stůl	1 340 200	1	1 340 200
Zdroj kabiny	4 865 000	2	9 730 000
Odsávání zplodin	1 150 000	1	1 150 000
Monitoring procesu	969 400	1	969 400
Kamera	164 780	1	164 780
Televize	40 000	1	40 000
PLC skříň	95 400	1	95 400
Vstupní / výstupní kolejnice pro výměnu robotů	40 750	4	163 000
Osvětlení kabiny	163 700	1	163 700
Požární alarm	420 000	1	420 000
Programování	1 471 600	1	1 471 600
Svazky, propojovací kabely	280 090	1	280 090
Příprava pracoviště	835 840	1	835 840
<b>Celkové náklady</b>			<b>40 886 890</b>

Na obrázku 12 je možné vidět budoucí podobu navrhované laserové kabiny.



Obrázek 12: Navrhovaná stanice 3025 [7]

### 11.3 Stanice 3035

Posledním navrhovaným pracovištěm je stanice 3035. Na této stanici dochází k broušení vytvořeného laserového svaru. Podélný svar je broušen dvěma roboty, kteří jsou opatřeny brousící hlavou. Součástí nástroje je i odsávací jednotka, jež odvádí třísky, a kalibr, který hlídá velikost brousícího kotouče, aby byla zajištěna co nejvyšší kvalita broušení.

I na tomto pracovišti dochází k monitoringu procesu a k ochraně zdraví pomocí laserového scanneru. Jednu z největších nákladových položek zde tvoří programování. To zajišťuje plynulý chod celého výrobního procesu a zajišťuje komunikaci mezi jednotlivými stanicemi. Samozřejmostí je PLC skříň, která musí být na každé stanici.

Součástí této stanice, stejně jako předchozích stanic, je i dopravníkový stůl, kamera na čtení štítků, vstupní a výstupní kolejnice pro výměnu robotů, svazky a osvětlení. Zapomenout se nesmí ani na přípravné práce, které tvoří významnou nákladovou položku.

Celkové náklady na pořízení této stanice jsou vymezeny v tabulce 8 nebo v příloze 3 a činí 8 833 425 Kč.

Tabulka 8: Náklady na pořízení stanice 3035

Položka	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Robot	700 500	2	1 401 000
Brousící hlava	950 400	2	1 900 800
Odsávací jednotka	360 300	2	720 600
Dopravníkový stůl	1 340 200	1	1 340 200
Kamera	164 780	1	164 780
Monitoring procesu	969 400	1	969 400
Osvětlení stanice	54 280	1	54 280
Vrata	45 800	1	45 800
Elektrický zdroj, svazky, propojovací kabely	214 580	1	214 580
Vstupní / výstupní kolejnice pro výměnu robotů	38 480	2	76 960
Programování	1 025 870	1	1 025 870
PLC skříň	95 400	1	95 400
Laserový scanner	138 290	2	276 580
Příprava pracoviště	547 175	1	547 175
<b>Celkové náklady</b>			<b>8 833 425</b>

Na obrázku 13 je zaznamenáno broušení laserového svaru pomocí robotů s brousící hlavou.



Obrázek 13: Navrhovaná stanice 3035 [7]

## 11.4 Ostatní položky

Před finálním vyčíslením celkových nákladů na investici se musí brát zřetel i na ty náklady, které se v položkách jednotlivých stanic neobjevily, ale bezpochyby s investicí souvisejí. Jednou takovou položkou je zvedák. Jak je možné vidět na obrázcích 9 a 10, nový zvedák je nutné pořídit pro transportování karoserie z dopravníku G na linku L3. K dalšímu rozšíření stávajícího stavu muselo dojít u pásového dopravníků, je tedy zvětšen o 9 metrů. S rozšířením pásového dopravníku a nových stanic souvisí i nutnost pořízení nových skidů. Nejvyšší položkou je zde software, který slouží k řízení celého výrobního procesu. Souhrn nákladů těchto vyjmenovaných položek tvoří 3 263 510 Kč. Podrobné rozdělení nákladových položek je možné vidět v tabulce 9, podrobněji popsané funkce jednotlivých položek pak také v příloze 4.

Tabulka 9: Náklady na ostatní položky

Položka	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Zvedák	1 272 500	1	1 272 500
Pásový dopravník příčný 9 m	59 100	1	59 100
Skid	20 350	7	142 450
Software	1 789 460	1	1 789 460
<b>Celkové náklady</b>			<b>3 263 510</b>

## 11.5 Hodnocení investice

Veškeré nákladové položky spojené s výstavbou nové linky L3/2 jsou představeny. Jejich souhrn je vyčíslen v tabulce 10. Celkové náklady na investici činí 75 056 570 Kč.

Tabulka 10: Celkové náklady investice

Položka	Náklady [Kč]
Stanice 3015	22 072 745
Stanice 3025	40 886 890
Stanice 3035	8 833 425
Ostatní položky	3 263 510
<b>Celkové náklady na investici</b>	<b>75 056 570</b>

Aby bylo možné vytvořit hodnocení této investice pomocí finančních ukazatelů výkonnosti, je nutné znát také náklady na výrobu jednoho modelu karoserie a jeho výnosy. Takovéto informace poskytuje tabulka 11.

Tabulka 11: Náklady, výnosy a zisk jednotlivých modelů

Linka L3/2					
Typ	Položka	Náklady [Kč/ks]	Celkové náklady [Kč/ks]	Celkové výnosy [Kč/ks]	Hrubý zisk [Kč/ks]
Model A	Materiál	2 761	3 945	4 221	276
	Mzdy	269			
	Režie	915			
Model B	Materiál	2 926	4 125	4 414	289
	Mzdy	278			
	Režie	921			
Model C	Materiál	5 337	6 652	7 118	466
	Mzdy	297			
	Režie	1 018			

Celkové náklady modelu zahrnují náklady na materiál, na mzdy a náklady na režie. Pod položkou materiál si lze představit veškerý použitý materiál, jenž je v tomto výrobním procesu potřeba. Jedná se například o střechu, lepidlo a přídatný svařovací materiál. Do této kategorie patří také vynaložené náklady na nové kontakty bodového svařování, brousící kotouče a frézy.

Položka mzdy skrývá náklady spojené se mzdou pracovníků, které lze přímo spojit s daným výrobkem. Jedná se o mzdy údržbářů, seřizovačů, programátorů, kontrolorů atd.

Nejrozsáhlejší nákladovou položkou jsou režie – výrobní, správní, zásobovací a odbytová. Zahrnují tyto náklady: mzdy administrativních pracovníků, spotřeba elektrické energie, údržba a pojištění budovy, technické kapaliny, opravy, odpisy, ochranné pomůcky, úklid prostor, přeprava a náklady spojené s údržbou softwaru.

V tabulce 11 je také uveden hrubý zisk, který se určí jako rozdíl mezi celkovými výnosy a celkovými náklady.

Další důležité informace potřebné k získání ročního hrubého zisku jsou vyobrazeny v tabulce 12: Kapacita svařovny.

Tabulka 12: Kapacita svařovny

Kapacita svařovny		Standardizováno	
Časový fond	Čistý pracovní čas na směnu [min/směna]		425
	Čistý pracovní čas na směnu [s/směna]		25 500
	Počet směn [směny]		3
	Čistý pracovní čas za den [s/den]		76 500
Současný stav	Nejvyšší takt stanice [s]	61	
	Kapacita při 100 % využitelnost [ks/den]	1 254	
	Kapacita při 85 % využitelnost [ks/den]	1 066	1 000
Navrhovaný stav	Nejvyšší takt stanice [s]	45	
	Kapacita při 100 % využitelnost [ks/den]	1 700	
	Kapacita při 85 % využitelnost [ks/den]	1 445	1 400
	<b>Zvýšení kapacity [ks/den]</b>		<b>400</b>

V tabulce 12 je uveden čistý pracovní čas, počet směn a informace potřebné k určení velikosti kapacity současného a navrhovaného stavu svařovny. Dle jejího interního nařízení je využitelnost kapacity stanovena na 85 %. To v současném stavu vychází na 1 066 ks karoserií za den. Tato kapacita je vypočítána z maximální kapacity, jež se určí jako podíl čistého pracovního času za den v sekundách a nejvyššího taktu stanice v sekundách. Nejvyšší takt stanice

je při současném stavu u stanice 3020, a to 61 sekund. Podnik však ví, že v některých případech mohou prostoje dosahovat více než 15 %, a proto svými stanovami určil kapacitu tohoto střediska na 1 000 ks/den. Jedná se zde o pravidlo opatrnosti, aby při tvorbě plánu výnosů docházelo pouze k minimálním odchylkám mezi plánem a skutečností.

Pokud by se nová linka L3/2 realizovala, došlo by ke snížení nejvyššího taktu stanice ze 61 sekund na 45 sekund, neboť se takt u linky L3/1 vlivem rozšíření pracovišť L3/2 sníží, ale kapacita ostatních pracovišť zůstane stejná. Proto by se v tomto případě stala nejpomalejším pracovištěm stanice 2130 s taktem 45 sekund. Při navrhovaném stavu daného výrobního procesu by se kapacita svařovny navýšila při 85 % využitelnosti na 1 445 ks/den. Zde platí též pravidlo opatrnosti, proto se dále bude počítat s kapacitou 1 400 ks/den. Kapacita svařovny by se touto investicí navýšila o 400 ks karoserií za den.

Peněžní vyjádření navýšení kapacity lze najít v tabulce 13. Tabulka srovnává vyrobené množství daných kusů modelů při současném stavu a možné vyrobené množství modelů v navrhovaném stavu. Nárůst počtu vyrobených kusů není procentuálně konstantní, neboť se změnil poměr mezi vyráběnými modely.

Tabulka 13: Určení ročního hrubého zisku

	Položka	Model A	Model B	Model C	Celkem
Současný stav	Poměr	2	5	1	-
	Vyráběné množství [ks/den]	250	625	125	1 000
Navrhovaný stav	Poměr	1	3	1	-
	Vyráběné množství [ks/den]	280	840	280	1 400
Rozdíl	Rozdíl ve vyráběném množství [ks/den]	30	215	155	400
	Výnosy [Kč/den]	126 630	949 010	1 103 290	2 178 930
	Výnosy [Kč/rok]	30 644 460	229 660 420	266 996 180	527 301 060
	Náklady [Kč/den]	118 350	886 875	1 031 060	2 036 285
	Náklady [Kč/rok]	28 640 700	214 623 750	249 516 520	492 780 970
	Hrubý zisk [Kč/den]	8 280	62 135	72 230	142 645
	<b>Hrubý zisk [Kč/rok]</b>	<b>2 003 760</b>	<b>15 036 670</b>	<b>17 479 660</b>	<b>34 520 090</b>

Největší nárůst ve vyráběných kusech zaznamená model B, naopak nepatrný nárůst nastane u modelu A. Největší podíl na generování hrubého denního zisku bude mít však model C. Celkový denní hrubý zisk činí 142 645 Kč a roční hrubý zisk sahá až do výše 34 520 090 Kč. Pro určení hrubého zisku bylo počítáno s 242 dny (252 pracovních dní za rok, 10 dní celozávodní dovolená).

Hrubý zisk byl stanoven dle následující rovnice.

$$HZ = Vn - N \quad (8)$$

Kde:

HZ – hrubý zisk [Kč]

Vn – výnosy [Kč]

N – náklady [Kč]



### 11.5.1 Čistá současná hodnota

Jednou z nejpoužívanějších dynamických metod hodnocení investice je ukazatel čistá současná hodnota. Ta vymezuje, kolik finančních prostředků investice za svou životnost vygeneruje v přepočtu na současnou hodnotu peněz. Pro určení výše těchto finančních prostředků využijeme vztah z následující rovnice:

$$\check{C}SH = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - INV \quad (9)$$

Kde:

$\check{C}SH$  – čistá současná hodnota [Kč]

$CF_i$  – cash flow v roce  $i$  [Kč]

$r$  – diskontní sazba [%]

$n$  – doba životnosti investice [roky]

$INV$  – hodnota investice [Kč]

[38]

Celý výpočet čisté současné hodnoty včetně určení hrubého zisku (rovnice 9), čistého zisku (rovnice 10), cash flow (rovnice 11), diskontního faktoru (rovnice 12) a diskontovaného cash flow (rovnice 13) je zaznamenán v tabulce 14.

$$\check{C}Z_i = HZ_i - d_i \quad (9)$$

Kde:

$\check{C}Z_i$  – čistý zisk v  $i$ -tém roce [Kč]

$HZ_i$  – hrubý zisk v  $i$ -tém roce [Kč]

$d$  – daň ze zisku v roce  $i$  [Kč]

$$CF_i = \check{C}Z_i + o_i \quad (10)$$

Kde:

$CF_i$  – cash flow v  $i$ -tém roce [Kč]

$\check{C}Z_i$  – čistý zisk v i-tém roce [Kč]

$o_i$  – odpisy v i-tém roce [Kč]

$$DF_i = \frac{1}{(1+r)^i} \quad (11)$$

Kde:

$DF_i$  – diskontní faktor v i-tém roce [-]

$r$  – diskontní sazba [%] [39]

$$dCF_i = CF_i \times DF_i \quad (12)$$

Kde:

$dCF_i$  – diskontované cash flow v i-tém roce [Kč]

$CF_i$  – cash flow v i-tém roce [Kč]

$DF_i$  – diskontní faktor v i-tém roce [-] [39]

Daň ze zisku se rovná 19 % a diskontní sazba, která v sobě zahrnuje alternativní výnos, potenciální riziko a inflaci, činí 8,87 %. Diskontní sazbu určilo vedení firmy a jedná se o doporučenou diskontní sazbu pro automobilový průmysl. [39]

Tabulka 14: Stanovení čisté současné hodnoty v [Kč]

i [roky]	0	1	2	3	4	5	6	7
Investice	-75 056 570							
Odpisy		15 011 314	15 011 314	15 011 314	15 011 314	15 011 314	0	0
Výnosy		527 301 060	527 301 060	527 301 060	527 301 060	527 301 060	527 301 060	527 301 060
Náklady (i s odpisy)		492 780 970	492 780 970	492 780 970	492 780 970	492 780 970	492 780 970	492 780 970
Hrubý zisk		34 520 090	34 520 090	34 520 090	34 520 090	34 520 090	34 520 090	34 520 090
Daň ze zisku		6 558 817	6 558 817	6 558 817	6 558 817	6 558 817	6 558 817	6 558 817
Čistý zisk		27 961 273	27 961 273	27 961 273	27 961 273	27 961 273	27 961 273	27 961 273
Cash flow	-75 056 570	42 972 587	42 972 587	42 972 587	42 972 587	42 972 587	27 961 273	27 961 273
Kumulované cash flow	-75 056 570	-32 083 983	10 888 604	53 861 191	96 833 778	139 806 365	167 767 637	195 728 910
Diskontní faktor [-]	1,00	0,919	0,844	0,775	0,712	0,654	0,601	0,552
Diskontované cash flow	-75 056 570	39 471 468	36 255 596	33 301 733	30 588 530	28 096 381	16 792 200	15 424 084
<b>Kumulované diskontované cash flow</b>	<b>-75 056 570</b>	<b>-35 585 102</b>	<b>670 494</b>	<b>33 972 227</b>	<b>64 560 757</b>	<b>92 657 138</b>	<b>109 449 338</b>	<b>124 873 422</b>

Z tabulky 14 lze vypočítat, že k opotřebenému dlouhodobému hmotnému majetku dochází rovnoměrně po dobu pěti let. Životnost investice je ale stanovena na sedm let, tudíž odpisy jsou tedy šestý a sedmý rok rovny nule. Tyto roky se cash flow rovná čistému zisku.

V tomto případě dynamická metoda udává, že navrhovaná investice se vygeneruje za sedm let 124 873 422 Kč. Dále vyplývá, že kladná hodnota diskontovaného cash flow se začne vytvářet již druhý rok od pořízení investice.

Aby byla investice realizována, nesmí ukazatel čistá současná hodnota dosahovat záporných hodnot.

### 11.5.2 Dynamická doba návratnosti

Dalším důležitým ukazatelem pro posouzení, zda je výhodné do nové linky L3/2 investovat, je dynamická doba návratnosti. Jak samotný název napovídá, ukazatel uvádí, za jak dlouhou dobu se prostředky vložené do investice vrátí. Hodnota doby návratnosti se určí dosazením do rovnice 12.

$$PP = \frac{INV}{\bar{d}CF} \quad (12)$$

Kde:

PP – dynamická doba návratnosti [roky]

INV – investice [Kč]

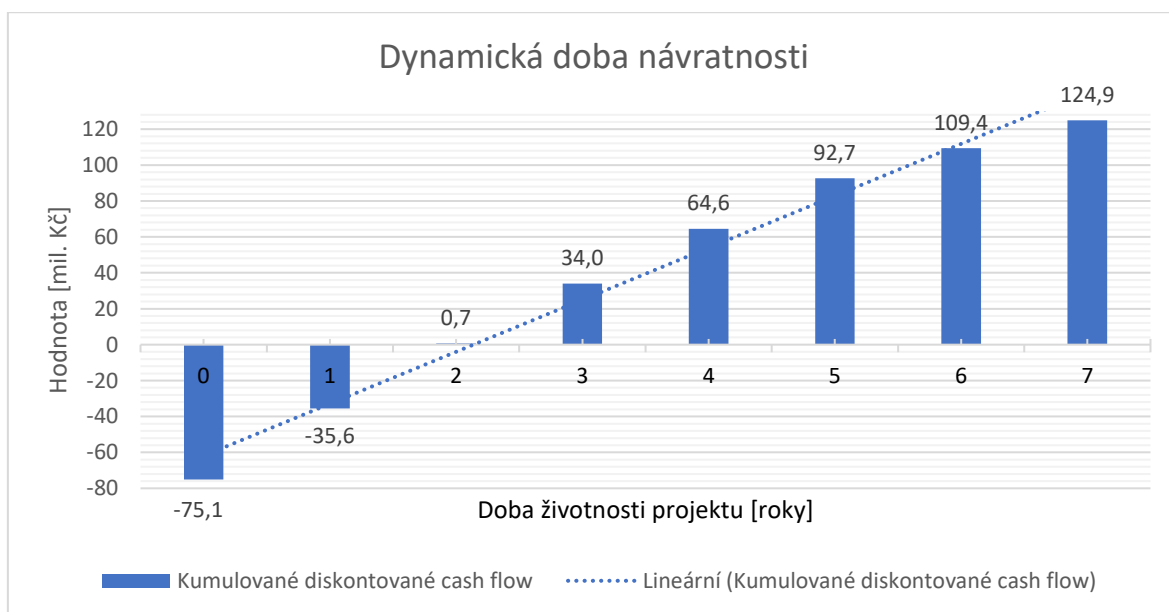
$\bar{d}CF$  – průměrné diskontované cash flow [Kč]

[39]

Rovnice na výpočet doby návratnosti není složitá, ovšem vzhledem k použití průměrné hodnoty diskontovaného cash flow při výpočtu, může dojít k vnesení

chyby do výpočtu. Lepší variantou je využití kumulovaného diskontovaného cash flow (tabulka 14). [39]

Takto zpracované údaje jsou vyobrazeny na grafu 4, z něhož lze snadno vyčíst, že dynamická doba návratnosti navrhované linky L3/2 činí 2 roky.



Graf 4: Dynamická doba návratnosti

### 11.5.3 Vnitřní výnosové procento

Zda se vyplatí investici realizovat, prozradí dynamická metoda hodnocení investic, a tím je vnitřní výnosové procento. Tento ukazatel určuje relativní výnos v průběhu životnosti projektu. Vypočítá se následující rovnicí.

$$\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+VVP)^i} - INV = 0 \quad (13)$$

Kde:

$CF_i$  – cash flow v roce  $i$  [Kč]

VVP – vnitřní výnosové procento [%]

n – doba životnosti investice [roky]

INV – hodnota investice [Kč]

[38]

Při delším trvání investice (více než 2 roky) se pro určení vnitřního výnosového procenta využívá funkce MÍRA.VÝNOSNOSTI v aplikaci MS Excel, kdy je potřeba zadat do funkce pouze výši investice a cash flow v jednotlivých letech.

Vnitřní výnosové procento pro investici do nové linky L3/2 činí 53 %. Aby investice nebyla prodělečná, musí se hodnota vnitřního výnosového procenta alespoň rovnat diskontní sazbě, tj. 8,87 %. Což investice splňuje. [39] [38]

#### 11.5.4 Index výnosnosti

Poslední použitou metodou vyhodnocení výhodnosti investice je index výnosnosti. Jak je možné vidět v rovnici 14, jedná se o poměr mezi sumou diskontovaného cash flow a vynaložených finančních prostředků na investici.

$$ROI = \frac{\sum_{i=1}^n dCF_i}{INV} \quad (14)$$

Kde:

ROI – výnosnost investice, index ziskovosti [%]

$dCF_i$  – diskontované cash flow v roce i [Kč]

n – doba životnosti investice [roky]

INV – hodnota investice [Kč]

[38]

Aby byla investice přijata, měl by být ukazatel roven nebo větší než jedna. Samozřejmě platí, že čím vyšší je index ziskovosti, tím je investice po ekonomické stránce výhodnější. [38]

Hodnota indexu výnosnosti je v případě realizace nové linky L3/2 rovna 2,7 %.

### 11.5.5 Zhodnocení přijetí investice

Návrh na realizaci nové linky L3/2 byl zhodnocen hned několika ukazateli finanční výkonnosti (tabulka 15). Všechny ukazatele jsou dynamického charakteru. To znamená, že při vyhodnocování byl brán zřetel na čas, finanční přínos a riziko.

Tabulka 15: Výsledky hodnocení investice

Dynamická metoda	Hodnota	Kritérium přijatelnosti
Čistá současná hodnota [Kč]	124 873 422,0	$\geq 0$
Dynamická doba návratnosti [roky]	2,0	$\leq n$
Vnitřní výnosové procento [%]	53,0	$\geq r$
Index výnosnosti [%]	2,7	$\geq 1$

Čistá současná hodnota po 7 letech životnosti vygeneruje diskontované cash flow v hodnotě 124 873 422 Kč, přičemž obecným kritériem pro přijetí je hodnota vyšší nebo rovna nule.

U dynamické doby návratnosti je důležité, aby doba návratnosti nebyla vyšší, než je životnost investice. I zde bylo pravidlo přijatelnosti splněno, neboť z grafického znázornění (graf 4) vyplývá, že návratnost investice nastane po 2 letech.

Hodnota vnitřního výnosového procenta by měla dosahovat alespoň do výše diskontní sazby (tj. 8,87 %), aby bylo pokryto již zmíněné riziko, inflace a alternativní výnos. Stejně jako u čisté současné hodnoty, i zde byla hodnota několikanásobně předčena na 53 %.

Podmínkou pro přijetí investice dle dynamické metody indexu výnosnosti je dosažení minimální hodnoty 1. Doporučená hodnota byla převyšena, a to na 2,7 %.

S ohledem na nabyté informace, které vyplynuly z hodnocení investice lze jednoznačně říct, že nebyly shledány žádné důvody, jež by zapříčinily nepřijetí

investice. Realizace této investice by byla významným krokem k výraznému navýšení maximální možné kapacity na daném středisku.

### 11.5.6 Analýza rizik

Při plánování investic je nutné počítat i s riziky, jelikož negativně ovlivňují průběh výrobního procesu.

Jistá rizika mohou nastat v souvislosti s navrhováním nové linky L3/2, na níž bylo počínáno pouze s odstraněním úzkého místa nacházejícího se na původní lince L3/1. Nepočítalo se však s přesunem úzkého místa na jiné, následující pracoviště linky L4. Samozřejmě je jasné, že k přesunu úzkého místa dojde, ale nedá se dopředu přesně odhadnout, v jak velké míře. Záleží také na současných možnostech pracoviště a na šikovnosti pracovníků, jak si s odstraněním úzkých míst poradí.

Životnost kabiny je stanovena na dobu životnosti jednoho modelu, což je 7 let. Neznamena to ale, že ukončení výroby určitého modelu způsobí vyřazení nové linky L3/2 z provozu. Linka je do velké míry navržena tak, aby se v případě potřeby dala upravit na výrobu jiného modelu. Na lince se vyrábějí tři modely karoserií a nikdy nedochází k vyřazení z výroby všech modelů najednou, to vždy probíhá postupně. Ovšem může nastat situace, kdy nebude možné danou linku použít. Hlavně použitelnost laserové kabiny by byla v případě orientace na rozměrově objemnější model ohrožena. Pokud se podnik rozhodne orientovat na jiný segment zákazníků (na nový trh), který bude upřednostňovat velké terénní vozy, muselo by dojít k výměně samotné laserové kabiny z důvodů úzkých vjezdových a výjezdových vrat. S největší pravděpodobností by musely být obměněny i dopravníkové stoly uzpůsobené větší váze a rozměrům. Tato obměna by byla samozřejmě spojena s vydáním nemalých finančních prostředků. Muselo by též dojít k úpravě rozmístění robotů a pracovních pozic na všech stanicích.



V oblasti ukazatelů finanční výkonnosti, může nastat jiný stav, než který se předpokládal. Proto byly zpracovány další dva návrhy, jež jsou dále porovnány mezi sebou.

Pesimistický scénář představuje snížení výnosů o 5 % od původní (nejpravděpodobnější) verze návrhu. Snížení tržeb může být zapříčiněno snížením poptávky po produktech podniku vlivem atraktivnějšího produktu a ceny konkurence. Pokles tržeb však nemusí být zaviněn pouze nezájmem zákazníků. Může se také stát, že součástky a materiál nezbytný pro výrobu karoserií, nebudou k dispozici. Karoserie by tak nemohly být předány do následujícího výrobního střediska a prodány konečným spotřebitelům. Vlivem špatné ekonomické situace státu může také dojít k navýšení daně ze zisku pro právnické osoby z 19 % na 21 %. Tímto způsobem si stát zvyšuje své příjmy. Nevylučitelnou možností je také zvýšení ceny vstupních materiálů. Proto v tomto scénáři bude počítáno s diskontní sazbou 12 %.

Pokud nastane přívětivější scénář, vyplývá, že podnik v důsledku zvyšujícího se zájmu po produktech, optimalizuje takty na dalších stanicích. Kapacita se zvýší, dojde-li k optimalizaci stanice 2130 s taktem 45 sekund a stanice 4020, jejichž takt trvá 44 sekund. Snížením taktu těchto stanic na 43 sekund se zvýší maximální možná kapacita na 1450 ks za den. Roční výnosy by tak vzrostly z 527 301 060 Kč na 586 787 080 Kč. Procentuální nárůst tržeb by činil téměř 11,3 %.

Tabulka 16 přehledně znázorňuje, v jakých parametrech se jednotlivé scénáře liší a o kolik.

Tabulka 16: Zadání hodnocení scénářů

Položka	Nejpravděpodobnější scénář	Optimistický scénář	Pesimistický scénář
Diskontní sazba [%]	8,87	8,87	12,00
Daň [%]	19,00	19,00	21,00
Nárůst/pokles výnosů [%]	0,00	11,28	-5,00
Roční výnosy [Kč]	527 301 060	586 787 080	500 936 007

Ukazatele obou scénářů byly počítány stejným způsobem jako nejpravděpodobnější scénář v kapitolách 11.5.1 až 11.5.4 (rovnice 8-14). Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 17.

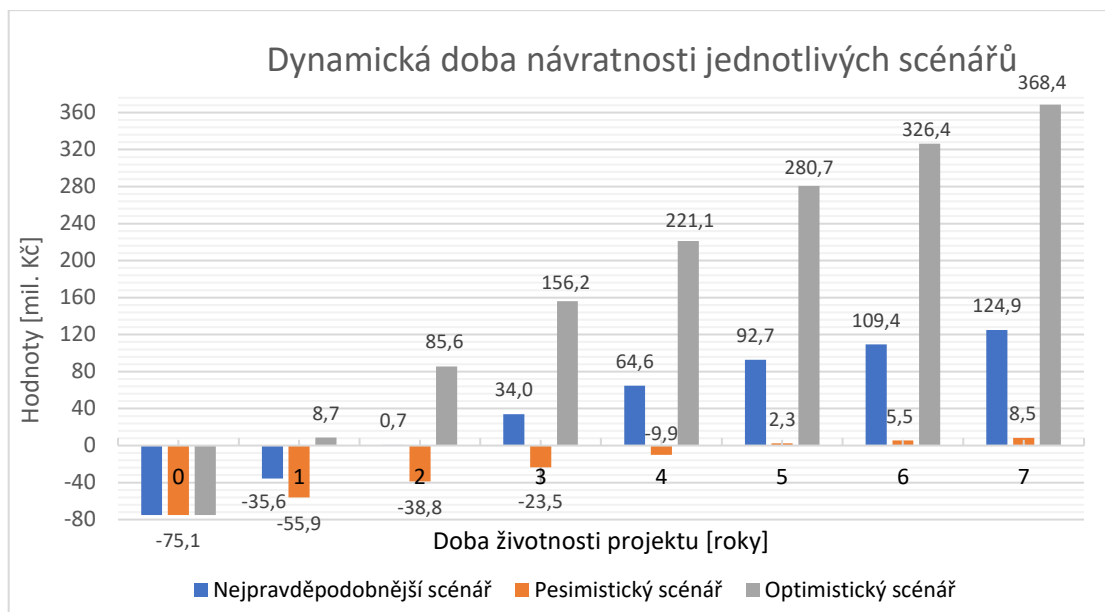
Tabulka 17: Výsledky hodnocení scénářů

Dynamické metody	Nejpravděpodobnější scénář	Optimistický scénář	Pesimistický scénář
Čistá současná hodnota [Kč]	124 873 422	368 441 039	8 457 764
Dynamická doba návratnosti [roky]	2,0	0,9	4,8
Vnitřní výnosové procento [%]	53,0	120,7	16,1
Index výnosnosti [%]	2,7	5,9	1,1

Nárůst výnosů o 11,3 % u optimistické varianty způsobil, že investice za sedm let vygeneruje 368 441 039 Kč. Jak je vidět v tabulce výše, i ostatní ukazatelé finanční výkonnosti této varianty jsou velmi příznivé.

Přestože by se mohlo zdát, že v případě pesimistického scénáře nebude investice výhodná, není tomu tak. I přes nepřízeň situace se za sedm let životnosti investice vygeneruje 8 457 764 Kč.

Pro srovnání dynamické doby návratnosti jednotlivých scénářů slouží graf 5. Kumulativní diskontované cash flow jednotlivých scénářů je možné vidět v příloze 5. Návratnost investice u pesimistického scénáře činí 4,8 let, u optimistického scénáře je doba návratnosti stanovena přibližně na 1 rok. Investice s nejpravděpodobnějším scénářem se navrátí za 2 roky.



*Graf 5: Dynamická doba návratnosti scénářů*

## 12 Fáze kontrolování

Poslední fáze cyklu DMAIC souvisí se samotnou kontrolou realizace výstavby nové linky L3/2. V této fázi musí být dohlíženo na průběh celé realizace, aby došlo k dodržení všech smluvených podmínek.

Po dokončení výstavby a všech činností souvisejících s realizací musí dojít ke zkušebnímu provozu, kdy bude vyzkoušena i návaznost linky na předchozí a následující pracoviště. Během zkušebního provozu se sbírají potřebná data, jež dále slouží pro analýzu a vylepšení výrobního procesu na nové lince, tak aby se proces stal stabilním. Ke zkušebnímu provozu dochází vždy o víkend, čímž není narušen stávající výrobní proces.

Před předáním nové výrobní linky do provozu je nutné zpracovat potřebnou dokumentaci, která mimo určení pravomocí a zprávy o kontrole vylepšení procesu musí také obsahovat ekonomické srovnání mezi plánem a skutečností.

Jelikož projekt nebyl doposud realizován a jedná se pouze o návrh, nemůže být tato fáze podrobněji použita v praxi.

## ZÁVĚR

Hlavním přínosem této diplomové práce je nalezení úzkého místa ve výrobním procesu a navržení jeho odstranění, které nejenže optimalizuje takty na daném pracovišti, ale také dojde k navýšení výrobní kapacity svařovny. Úzkým místem byla identifikována linka L3, jež nespĺňovala požadovaný limit taktu stanice. Ta neodpovídala současným kapacitním požadavkům. Důsledkem identifikovaného problému bylo plýtvání časem způsobené čekáním na lince L2/2.

Navrženým řešením tohoto problému je výstavba nové linky L3/2, jejímž zřízením se předčí momentální požadovaná kapacita. Zároveň tento výrobní úsek bude připraven na budoucí nárůst množství vyrobených kusů ve svařovně.

Navrhovaná investice byla zhodnocena čtyřmi ukazateli finanční výkonnosti. Všechny vypočítané ukazatele vyhodnotily investici jako vhodnou pro realizaci. Čistá současná hodnota vygeneruje za 7 let užívání 124 873 422 Kč, vnitřní výnosové procento sahá do výše 53 %, index výnosnosti byl vypočítán na 2,7 % a dynamickou dobu návratnosti lze z grafu 4 stanovit na 2 roky. Pro ověření výdělečnosti investice byla provedena analýza rizik, která potvrdila výhodnost investice realizované i za nepříznivých podmínek.

Cílem této diplomové práce byla optimalizace taktu ve svařovně zaměřená na zvýšení maximální možné kapacity. Navržená optimalizace taktů na lince L3 může přinést snížení taktu stanice z původních 61 sekund na vypočítaných 45 sekund a navýšení maximální možné kapacity z 1 000 ks/den na 1 400 ks/den. Tímto byl cíl diplomové práce splněn.

Optimalizace výrobního procesu úzce souvisí s odstraňováním úzkých míst. Je naprosto zřejmé, že odstraněním jednoho úzkého místa, v němž dojde ke zvýšení kapacity optimalizovaného pracoviště, se vytvoří úzké místo v jiné části výrobního procesu. Hledání a odstraňování úzkých míst je neustále se opakující proces až do doby, kdy se úzkým místem stane trh.

## Citovaná literatura

- [1] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Integrované řízení výroby: od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Praha: Grada, 2014. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4486-5.
- [2] Výroba, výrobní proces. *Oneindustry* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [https://www.oneindustry.one/lexikon/vyroba-vyrobní-proces/?fbclid=IwAR0ihl\\_lpr62n6qhNIRZq15R64Xu\\_m8hhSP8ROVHTpkAxiO3z6fxrhgo5\\_k](https://www.oneindustry.one/lexikon/vyroba-vyrobní-proces/?fbclid=IwAR0ihl_lpr62n6qhNIRZq15R64Xu_m8hhSP8ROVHTpkAxiO3z6fxrhgo5_k)
- [3] JESTON, John. *Business process management: practical guidelines to successful implementations*. Fourth edition. London: Routledge, 2018. ISBN 978-1-138-73840-9.
- [4] BERÁNKOVÁ, Lenka. *Optimalizace výroby*. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Martin Hart.
- [5] TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ. *Řízení výroby a nákupu*. Praha: Grada, 2007. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-1479-0.
- [6] VÁCHAL, Jan a Marek VOCHOZKA. *Podnikové řízení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Finanční řízení. ISBN 978-80-247-4642-5.
- [7] *Interní neveřejné zdroje*.
- [8] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [9] Lean přístup. *Management mania* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/lean>
- [10] KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Vyd. 1. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 8086851389.
- [11] FRANCHETTI, Matthew John. *Lean Six Sigma for Engineers and Managers: With Applied Case Studies*. Vyd. 1. Danvers: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4822-4353-6.
- [12] GEORGE, Michael L. *Kapesní příručka Lean Six Sigma: rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity*. Vyd. 1. [Brno]: Vera Color, 2010. ISBN 978-809-0409-927.

- [13] Six Sigma: Co je to Six Sigma?. *Interquality* [online]. Praha [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.interquality.cz/treninky-u-vas/six-sigma/>
- [14] MICHALEC, Václav. *Management výroby: Štíhlá výroba, plýtvání [přednáška]*. Praha: ČVUT, 2021.
- [15] MAŠÍN, Ivan a Jaroslav MAŠÍN. *Analýza procesů*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 9788073728656.
- [16] BAUER, Miroslav. *Kaizen: Cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. Vyd. 1. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 978-80-265-0029-2.
- [17] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.
- [18] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. Brno: Computer Press, 2005. Business books (Computer Press). ISBN 80-251-0850-3.
- [19] KAVAN, Michal. *Projektový management inovací*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03601-3.
- [20] LeanActivity, 2020: How to measure TAKT TIME and CYCLE. *Youtube video* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0agL-nQeoYg>
- [21] BEJČKOVÁ, Jana. Slovník průmyslového inženýrství. *Business info* [online]. 2009 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/navody/slovník-prumysloveho-inzenyrstvi/>
- [22] Takt-, Cycle-, Process-, and Lead time. *Muda Masters* [online]. 2015 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.mudamasters.com/en/lean-toolbox-lean-production-lean-transformations/takt-cycle-process-and-lead-time>
- [23] Process time. *ISix Sixma* [online]. c2000-2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.isixsigma.com/dictionary/process-time/#:~:text=Definition%20of%20Process%20Time%3A%20The%20Process%20Time%20is,point%20where%20consumers%20would%20purchase%20less%20of%20it.>
- [24] Wait Time. *Velaction* [online]. 2020 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.velaction.com/wait-time/>

- [25] Lead time. *Lean fabrika* [online]. 2012 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.lean-fabrika.cz/terminologie/lead-time#.YH3ccJ9xdPa>
- [26] ŠVANDOVÁ, Kateřina a Blanka ŠKRABALOVÁ. Jak to bylo za časů dávno minulých: MOTO: "Jezdím, jezdíš, jezdíme - aneb každý motorista by měl znát svého koně". *Auta ve škole* [online]. 2010 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: [http://autaveskole.jaknahmyz.cz/historie\\_automobilismu](http://autaveskole.jaknahmyz.cz/historie_automobilismu)
- [27] BRANKO, Remek. *Automobil a spalovací motor: Historický vývoj*. Vyd. 1. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN ISBN 978-80-247-3538-2.
- [28] VONDRÁKOVÁ, Andrea. Historie. *ČVUT* [online]. 2015 [cit. 2021-07-12]. Dostupné z: <https://www.cvut.cz/historie>
- [29] MATĚJKA, Jan. *Technická a ekonomická komparace automobilů s elektrickým a spalovacím motorem*. České Budějovice, 2018. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
- [30] VLASENKOVA, Tatiana. *Hybridní automobily a možnosti jejich budoucího využití*. Praha, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce RNDr. Rudolf Přibil CSc.
- [31] *TOX®-Clinching a spojování plechů: TOX®-Clinching: Nýtování bez nýtů!* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/klincovani/spojovani-technologie-tox/>
- [32] *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2351-6.
- [33] Laserové pájení. *Kuka AG* [online]. 2021 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/procesn%C3%AD-technologie/laserov%C3%A9-p%C3%A1jen%C3%AD>
- [34] CHRÁŠŤANSKÝ, Lukáš a Michal VALEŠ. Metody spojování využívající principy plastické deformace: Výroba a technologie. *MM spektrum* [online]. 2018 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/metody-spojovani-vyuzivajici-principy-plasticke-deformace>
- [35] Co je to klinčování. *Polaris centrum* [online]. 2018 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.polaris-centrum.cz/clanky/46-co-je-to-klincovani-/>

- [36] TOX®-Clinching a spojování plechů. *Tox pressotechnik* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/klincovani/spojovani-technologie-tox/>
- [37] HOANG, Nam. *Aplikace lean ve svařovně karoserií*. Mladá Boleslav, 2018. Diplomová práce. ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S., Ekonomika a management. Vedoucí práce David Holman.
- [38] SCHOLLEOVÁ, Hana. *Ekonomické a finanční řízení pro neekonomy*. 3., aktualizované vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. Expert (Grada). ISBN 978-80-271-0413-0.
- [39] ŽILKA, Miroslav. *Manažerské propočty [přednáška]*. Praha: ČVUT, 2019.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Struktura celkových nákladů v závislosti na objemu výroby .....	12
Obrázek 2: Obecné schéma transformačního procesu .....	13
Obrázek 3: Cyklus DMAIC.....	17
Obrázek 4: Nástroj greifer .....	36
Obrázek 5: Mechanický zámek .....	38
Obrázek 6: Procesní mapa zjednodušeného výrobního procesu karoserie automobilu .....	44
Obrázek 7: Podrobnější procesní mapa linek L2, L3 a L4 .....	49
Obrázek 8: Ishikawův diagram .....	55
Obrázek 9: Současný layout linky L3/1 .....	66
Obrázek 10: Navrhovaný layout linek L3/1 a L3/2.....	68
Obrázek 11: Navrhovaná stanice 3015 .....	71
Obrázek 12: Navrhovaná stanice 3025 .....	74
Obrázek 13: Navrhovaná stanice 3035 .....	75

## Seznam grafů

Graf 1: Takt karoserie na jednotlivých stanicích .....	53
Graf 2: Histogram plýtvání časem z hlediska čekání.....	53
Graf 3: Paretova analýza.....	59



Graf 4: Dynamická doba návratnosti .....	85
Graf 5: Dynamická doba návratnosti scénářů .....	91

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled činností na daných stanicích.....	50
Tabulka 2: Výpočet taktů jednotlivých stanic .....	52
Tabulka 3: Určení závažnosti jednotlivých příčin .....	56
Tabulka 4: Určení relativní a kumulativní závažnosti .....	58
Tabulka 5: Mediány taktu stanic na L3 v [s].....	63
Tabulka 6: Náklady na pořízení stanice 3015 .....	70
Tabulka 7: Náklady na pořízení stanice 3025 .....	73
Tabulka 8: Náklady na pořízení stanice 3035 .....	75
Tabulka 9: Náklady na ostatní položky .....	76
Tabulka 10: Celkové náklady investice .....	77
Tabulka 11: Náklady, výnosy a zisk jednotlivých modelů.....	77
Tabulka 12: Kapacita svařovny .....	78
Tabulka 13: Určení ročního hrubého zisku.....	80
Tabulka 14: Stanovení čisté současné hodnoty v [Kč] .....	83
Tabulka 15: Výsledky hodnocení investice.....	87
Tabulka 16: Zadání hodnocení scénářů .....	89
Tabulka 17: Výsledky hodnocení scénářů .....	90

## Seznam příloh

Příloha 1: Stanice 3015 .....	98
Příloha 2: Stanice 3025 .....	100
Příloha 3: Stanice 3035 .....	102
Příloha 4: Ostatní položky.....	103
Příloha 5: Kumulované diskontované cash flow jednotlivých scénářů .....	104

## Přílohy

Příloha 1: Stanice 3015

Položka	Použití	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Robot – greifer s pojezdem	Greifer, robot s pojezdem včetně kolejnice	725 990	1	725 990
Robot – greifer	Greifer	480 860	1	480 860
Robot – lepení	Lepení střechy	700 500	2	1 401 000
Greifer	Nástroj včetně přísavek, hydrauliky a hadic	381 750	2	763 500
Stojan pro stacionární aplikaci	Aplikace lepidla	33 950	1	33 950
Nanášecí hlava	Nástroj na nanášení lepidla včetně vyhřívaného dávkovače, kontroly zahřátí lepidla, vyhřívaného čerpadla a hadic	763 500	2	1 527 000
Kontejnerová věž	Zásobník na devět typů střech	10 879 900	1	10 879 900
Středící stůl	Stůl na odkládání střechy, zaručí přesnou polohu odebírání a následné přesné zakládání na karoserii	848 480	1	848 480
Dopravníkový stůl	Přejezdový zvedací stůl včetně středících kolíků a válečkového dopravníku	1 340 200	1	1 340 200
Monitorování procesu	Hlídání napětí, hlídání tlaku vzduchu pro jednotlivé upínky, zvedání dopravníkového stolu apod	969 400	1	969 400
PLC skříň	Měření taktů, odesílání signálů	95 400	1	95 400
Laserový scanner	Bezpečnost, ochrana	138 290	2	276 580
TCP bod	Kalibrace nástrojů (greifer, lepidlo)	23 340	2	46 680
Vstupní / výstupní kolejnice pro výměnu robotů		40 750	4	163 000
Kamera	Čtení štítků	164 780	1	164 780
Programování	Zpracování offline programů a RobCAD	1 074 520	1	1 074 520

Položka	Použití	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Osvětlení		62 670	1	62 670
Elektrický zdroj, svazky, propojovací kabely		275 410	1	275 410
Pneumatický systém	Zajišťování	160 250	1	160 250
Příprava pracoviště	Stavební úpravy haly	783 175	1	783 175
<b>Celkové náklady</b>				<b>22 072 745</b>

## Příloha 2: Stanice 3025

Položka	Použití	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Robot	Laserové pájení, podstavec, svařovací skříň	714 750	2	1 429 500
Robot	Bodové svařování, ochranný kryt, podstavec, svařovací skříň	723 970	2	1 447 940
Svařovací kleště	Nástroj na bodové svařování včetně svařovacího řízení	489 740	2	979 480
Adaptivní laserová hlava	Nástroj robota – včetně diodového laserového zdroje a podavače drátů	3 642 780	2	7 285 560
Laserový posuv studeného drátu		651 490	2	1 302 980
Upínací technologie	Upínací technologie přípravku na střechy	650 880	3	1 952 640
Přípravek na střechy		1 826 190	1	1 826 190
Pneumatický systém	Přítlačení přípravku na střechu karoserie	160 250	1	160 250
Stojanová frézka	Frézování kontaktů bodového svařování	192 780	2	385 560
TCP bod	Kontrolní bod pro kleště (při výměně nástroje, kalibrace)	23 340	2	46 680
Kabina	Ocelová konstrukce včetně opláštění a vjezdových a výjezdových vrat	4 750 000	1	4 750 000
Optický senzor	Monitor systému ochrany stěny	2 496 100	1	2 496 100
Dopravníkový stůl	Přejezdový zvedací stůl včetně středících kolíků a válečkového dopravníku	1 340 200	1	1 340 200
Zdroj kabiny	Laser zdroj včetně optických kabelů	4 865 000	2	9 730 000
Odsávání zplodin	Odsávací zařízení včetně samozhášecí jednotky	1 150 000	1	1 150 000

Položka	Použití	Požizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Monitoring procesu	Hlídání napětí, posuvy drátů, zvedání dopravníkového stolu, měřič výkonu laser, kamera	969 400	1	969 400
Kamera	Čtení štítků	164 780	1	164 780
Televize	-	40 000	1	40 000
PLC skříň	Měření taktů, odesílání signálů	95 400	1	95 400
Vstupní / výstupní kolejnice pro výměnu robotů		40 750	4	163 000
Osvětlení kabiny		163 700	1	163 700
Požární alarm		420 000	1	420 000
Programování	Zpracování offline programů a RobCAD	1 471 600	1	1 471 600
Svazky, propojovací kabely		280 090	1	280 090
Příprava pracoviště	Stavební úpravy haly	835 840	1	835 840
<b>Celkové náklady</b>				<b>40 886 890</b>

## Příloha 3: Stanice 3035

Položka	Použití	Požizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Robot	Broušení svarů	700 500	2	1 401 000
Brousící hlava	Nástroj včetně kalibru	950 400	2	1 900 800
Odsávací jednotka	Odsávání třísek	360 300	2	720 600
Dopravníkový stůl	Přejezdový zvedací stůl včetně středících kolíků a válečkového dopravníku	1 340 200	1	1 340 200
Kamera	Čtení štítků	164 780	1	164 780
Monitoring procesu	Hlídnání napětí, zvedání dopravníkového stolu apod	969 400	1	969 400
Osvětlení stanice		54 280	1	54 280
Vrata	Výstup ze stanice	45 800	1	45 800
Elektrický zdroj, svazky, propojovací kabely		214 580	1	214 580
Vstupní / výstupní kolejnice pro výměnu robotů		38 480	2	76 960
Programování	Zpracování offline programů a RobCAD	1 025 870	1	1 025 870
PLC skříň	Měření taktů, odesílání signálů	95 400	1	95 400
Laserový scanner	Bezpečnost, ochrana	138 290	2	276 580
Příprava pracoviště	Stavební úpravy haly	547 175	1	547 175
<b>Celkové náklady</b>				<b>8 833 425</b>

Příloha 4: Ostatní položky

Položka	Použití	Pořizovací náklady [Kč]	Potřebné množství [ks]	Celkem [Kč]
Zvedák	Elektrický. Zvedací / spouštěcí dopravník s válečkovým dopravníkem	1 272 500	1	1 272 500
Pásový dopravník příčný 9 m		59 100	1	59 100
Skid		20 350	7	142 450
Software		1 789 460	1	1 789 460
<b>Celkové náklady</b>				<b>3 263 510</b>

*Příloha 5: Kumulované diskontované cash flow jednotlivých scénářů*

Kumulované diskontované cash flow								
Scénář/roky	0	1	2	3	4	5	6	7
Optimistický [Kč]	-75 056 570	8 672 890	85 580 633	156 222 448	221 108 839	280 708 721	326 437 727	368 441 039
Nejpravděpodobnější [Kč]	-75 056 570	-35 585 102	670 494	33 972 227	64 560 757	92 657 138	109 449 338	124 873 422
Pesimistický [Kč]	-75 056 570	-55 901 397	-38 798 565	-23 528 179	-9 893 905	2 279 553	5 543 514	8 457 764