

# Optimalizace procesu výrobní linky pro výrobu součástí motoru do eletroaut

Bc. Tomáš Jurča

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš Jurča
Osobní číslo:	T21422
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Optimalizace procesu výrobní linky pro výrobu součásti motoru do elektroaut

## Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Analýza současného stavu výroby.
3. Optimalizace výroby s ohledem na snížení výrobních nákladů.
4. Zhodnocení navržených řešení.



## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronické nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá výrobou součástí motoru do elektroaut a následnou optimalizací výrobní linky. Teoretická část je rozdělena do dvou hlavních segmentů, na metody optimalizace, kde dojde k bližšímu poznání metod optimalizace, automatizace a řízení výroby a na obrábění s příslušnými operacemi a materiály pro řezné nástroje.

Praktická část se věnuje samotnému postupu výroby dílu elektromotoru a srovnává dva návrhy pro optimalizaci výrobní linky a jeho finanční zhodnocení.

Klíčová slova: automatizace, nástrojové materiály, úspora, robotizace, výroba, optimalizace

## **ABSTRACT**

The master thesis deals with the production of engine components for electric cars and the subsequent optimization of the production line. The theoretical part is divided into two main segments, the optimization methods, where a closer understanding of optimization methods, automation and production control and the machining with the relevant operations and materials for cutting tools.

The practical part is devoted to the actual manufacturing process of the electric motor part and compares two designs for optimizing the production line and its financial evaluation.

Keywords: automation, tool materials, economy, robotization, production, optimization

Chtěl bych poděkovat z velké části vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Bednaříkovi Ph.D. za ochotu, přístupnost, pomoc, rady a vstřícnost. Dále firmě Schlote, která mi umožnila diplomovou práci zpracovat, přítelkyni a všem, co mě po dobu studia podporovali.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 METODY OPTIMALIZACE</b> .....	<b>11</b>
1.1 ŠTÍHLÁ VÝROBA .....	11
1.1.1 Význam štíhlého managementu .....	12
1.2 SWOT ANALÝZA .....	13
1.2.1 Interní analýza .....	14
1.2.2 Externí analýza.....	14
1.3 JIT.....	15
1.4 KANBAN.....	16
1.5 METODA 5S.....	17
1.6 AUTOMATIZACE A ROBOTIKA .....	19
1.6.1 Automatizovaný výrobní systém.....	20
1.6.2 Výhody a nevýhody automatizace .....	21
1.6.3 Definice robotů a manipulátorů .....	22
1.6.4 Průmysloví a servisní roboti.....	23
1.6.5 Automaticky naváděné vozíky (AGV).....	26
1.7 ŘÍZENÍ VÝROBY .....	27
1.7.1 Příprava výroby .....	28
1.7.2 Úrovně řízení výroby .....	30
1.7.3 Standardizace .....	32
<b>2 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>34</b>
2.1 FRÉZOVÁNÍ .....	34
2.2 SOUSTRUŽENÍ.....	35
2.3 VRTÁNÍ, ZAHLUBOVÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ A VYSTRUŽOVÁNÍ .....	36
2.4 BROUŠENÍ .....	36
2.5 MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE .....	37
2.5.1 Slinuté karbidy .....	37
2.5.2 Cermety .....	38
2.5.3 Keramika .....	39
2.5.4 Supertvrdé materiály .....	41
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>43</b>
<b>3 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>44</b>
<b>4 POPIS VÝROBKU</b> .....	<b>45</b>
4.1 SCHLOTE AUTOMOTIVE CZECH S.R.O. ....	45
<b>5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY</b> .....	<b>47</b>
5.1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY .....	58

5.1.1	Snížení nákladů na energie.....	59
5.1.2	Snížení nákladových prostředků na nástroje.....	59
5.1.3	Zavedení automatizace.....	60
5.1.4	Ergonomie pracoviště.....	60
<b>6</b>	<b>NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBY .....</b>	<b>61</b>
6.1	NÁVRH 1 – ČÁSTEČNĚ AUTOMATIZOVANÁ LINKA .....	61
6.1.1	Ekonomické zhodnocení návrhu 1 .....	64
6.2	NÁVRH 2 – PLNĚ AUTOMATIZOVANÁ LINKA.....	66
6.2.1	Ekonomické zhodnocení návrhu 2 .....	69
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉ OPTIMALIZACE .....</b>	<b>70</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>81</b>



## ÚVOD

V dnešní době je automatizace a robotizace velmi aktuální téma. Získání informací a zkušeností ohledně zavedení automatizace v praxi je důležité pro každého, kdo se chce automatizací zabývat. Toto jsou hlavní důvody zvolení tématu.

Cílem je teoretický rozbor na téma metod optimalizace a obrábění. V první části dojde k rozebrání všech typů optimalizace, řízení výroby a automatizace. Zjistí se, proč je její zavedení takovým zlepšením do výroby a je nutná k udržení firmy na trhu. Následuje robotizace s konkrétními případy a typy robotů. Druhá část se zabývá obráběním jako takovým, dojde k rozebrání frézování, soustružení, vrtání, broušení a v neposlední řadě rozdělení materiálů pro rezné nástroje, které se při výrobě a automatizaci používají.

V praktické části půjde o zhotovení výrobního postupu pro výrobu součásti motoru elektroaut. Poté budou rozebrány dva možné návrhy pro optimalizaci výrobní linky, které budou porovnány společně s původním rozložením linky. V poslední řadě dojde k vyhodnocení nejlepšího návrhu optimalizace z praktického a finančního hlediska.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 METODY OPTIMALIZACE

Optimalizace je proces, který se snaží najít nejvhodnější řešení, nejkratší cesty a zajistit nákup, co nejlevnějších a nejkvalitnějších materiálů. Optimalizace zastupuje velmi důležitou součást technické přípravy výroby a přímo ovlivňuje úspěšnost firmy na trhu [2].

## 1.1 Štíhlá výroba

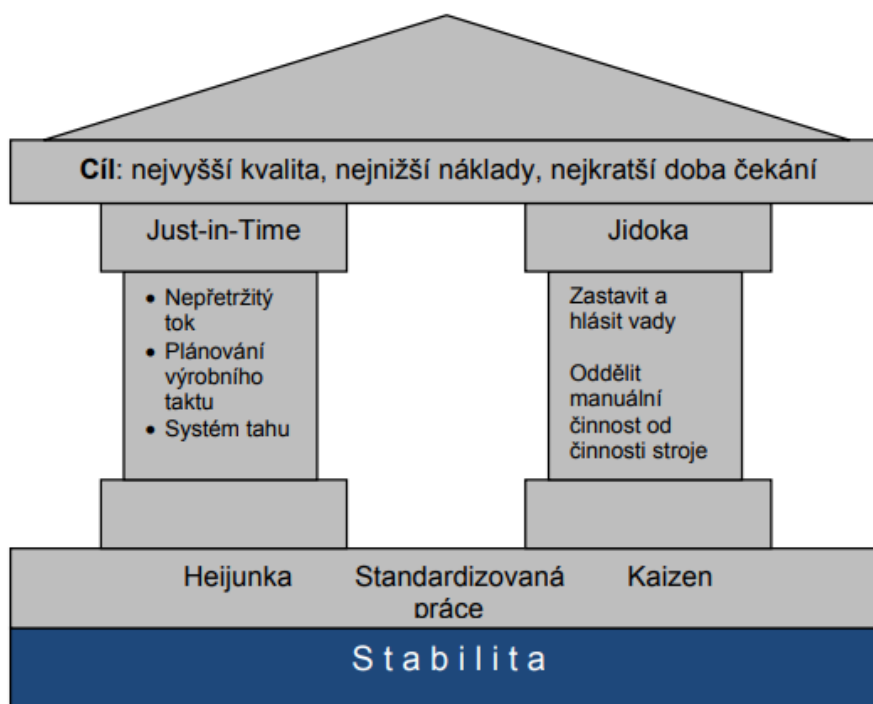
Cílem štíhlé výroby je zvýšit celkovou produkci a rychleji reagovat na požadavky zákazníků. Za otce štíhlé výroby je požadován Taiichi Ohno, který tuto filozofii poprvé aplikoval ve společnosti Toyota Automotive. Ohno věřil, že redukce plýtvání poskytne konkurenční výhodu v podobě vyšší kvality a úspory času. Organizace, které uplatňují štíhlý management, se stále soustřeďují na klíčové procesy, které mají přinášet hodnotu zákazníkům tím, že je co nejvíce zefektivní. [1]

Hlavní cíle štíhlé výroby lze shrnout do dosažení tří cílů:

- 1) zlepšení toku procesu,
- 2) použití kroků přidávajících hodnotu do procesu ,
- 3) odstranění aspektů, které poškozují efektivitu procesu.

K dosažení těchto hlavních cílů se štíhlá výroba řídí pěti základními principy:

- identifikace hodnoty pro zákazníky při přechodu na štíhlou výrobu,
- zmapování hodnotového toku pracovních procesů,
- zefektivnění pracovních procesů,
- vyhlazení zefektivněného pracovního toku,
- zlepšování pracovního toku prostřednictvím neustálého vývoje [1,4].



Obr. 1. Výrobní systém Toyoty [33].

### 1.1.1 Význam štíhlého managementu

Očekávání zákazníků jsou v dnešní době vyšší než kdykoli předtím, a proto je důležité k udržení a rozvinutí svých portfolií, být schopen řešit problémy a poptávky zákazníka v co nejkratším čase a v co nejvyšší kvalitě. Postupný přístup štíhlé výroby ke snižování plýtvání v rámci všech procesů tak do značné míry přispívá k uspokojení zvýšených požadavků zákazníků v krátkém čase. [4]

Výhodou využíváním štíhlé výroby je snižování nákladů prostřednictvím zvyšování produktivity. Omezenost zdrojů – zejména nerostných surovin a kovů – vytváří riziko pro společnost v téměř všech průmyslových odvětvích na celém světě. Nejlepší řešení je zefektivnění využívání zdrojů pomocí štíhlé výroby. Kromě přínosů pro produktivitu může odstranění časově náročných, frustrujících a často zbytečných úkolů zvýšit morálku zaměstnanců, a proto pozitivně přispívá k jejich celkové spokojenosti. V neposlední řadě štíhlá výroba často přináší firmám, uplatňujícím tuto metodu, úspory nákladů. Když se organizace zaměřují na snižování nákladů, často se snaží identifikovat zbytečné náklady, zefektivňují procesy a hledají příležitosti ke zlepšení celkové efektivity [4,5].

## 1.2 SWOT analýza

Pomocí SWOT analýzy je možné zhodnotit interní a externí faktory, ovlivňující úspěšnost subjektu. Nejčastější využití najde jako situační analýza v rámci strategického řízení. Název této strategie se skládá ze čtyř písmen:

- S (Strengths) – silné stránky,
- W (Weaknesses) – slabé stránky,
- O (Opportunities) – příležitosti,
- T (Threats) – hrozby, rizika [6].

SWOT analýza je metoda univerzální a široce využitelná. Její hlavní účel je v hodnocení celých společností, ale je možné ji využít i pro hodnocení jednotlivých oblastí, produktů atd. Skládá se z dvou dílčích analýz – interní a externí.

Cílem interní analýzy je zhodnotit silné stránky a zhodnotit je na základě přednosti podniku a také určit slabé stránky a následně určit strategii k odstranění těchto nedostatků.

Cílem externí analýzy je nalezení příležitostí pro rozvoj firmy a také najít potenciální hrozby, který by mohly ohrozit pozici společnosti na trhu.

Informace potřebné k provedení analýzy SWOT je možné zjistit více způsoby, např. provedením již zavedených analýz, šetřením atd. Dlouhodobým používáním SWOT analýzy se dají zjistit silné a slabé stránky společností a zda aktuální zavedení optimalizace firmě pomáhá či nikoli.

Při využití SWOT analýzy je nutné brát v úvahu pravidlo objektivity. Platná data jsou pouze ta, která se nějak odlišují od konkurentů. Za silné stránky nelze využít přednosti firmy, které jsou s jinými firmami společné [7].

### 1.2.1 Interní analýza

Analýza zaměřující se na vnitřní faktory firmy, které firma může sama ovlivnit. Úkolem této analýzy je zjištění silných a slabých stránek firmy.

Interní analýzu lze rozdělit do čtyř základních skupin:

- fyzické zdroje – popisují hmotný majetek firmy,
- finanční zdroje – popisují informace o cizím a vlastním kapitálu,
- lidské zdroje – popisují motivaci, kvalifikaci a strukturu zaměstnanců,
- nehmotné zdroje – popisují nehmotný majetek firmy [6,7].

### 1.2.2 Externí analýza

Analýza, která se zabývá okolím své firmy, jak toto okolí firmu ovlivňuje a jaké činitele se v blízkosti vyskytují. Firmy se zmapovaným okolním prostředím jsou schopny se zaměřit na efektivní činnost, která vede k rozvoji firmy.

Cílem externí analýzy je vyvarovat se možných hrozeb, které by mohly rozvoj firmy znemožnit.

Externí analýza se skládá z několika částí:

- analýza trhu,
- analýza konkurence,
- analýza zákazníka,
- analýza distribuce [7].

Analýza trhu je pro firmy velmi důležitá. V prvním bodě je pro firmu důležitý trh, na kterém firma působí, definovat a adekvátně jej prostudovat a popsat. Za druhé je potřeba znát objem trhu, strukturu a snažit se o predikci vývoje trhu do budoucnosti.

Analýza konkurence je pro firmy velmi složitá, neboť na trhu není pouze jedna konkurence.

Analýza zákazníka a jeho nákupního chování je dalším velmi důležitým bodem. Zákazníky je možné rozdělit na zákazníky potenciální a na zákazníky současné. Současné zákazníky jde dále dělit na jednorázové a na stálé. V případě velkých firem se jedná o byznys B2B, což je byznys na profesionální úrovni. Na trhu se neobjevují osoby, které by byly ovlivněny psychickými, emocionálními nebo sociálními faktory. Na druhou stranu se objevují profesionální nákupčí podniku, kteří mají za úkol se soustředit pouze na výsledek.

Analýza distribučních cest má za úkol poskytnout informace o cestách, na kterých bylo zboží zprostředkováno uživateli. Distribuční cesty se rozdělují na dvě skupiny, na distribuci přímou a nepřímou. Přímou distribucí se rozumí vztah mezi kupujícím a výrobcem. Nepřímá distribuce má navíc mezičlánek, který stojí mezi kupujícím a prodejcem [6,7].

### 1.3 JIT

Metoda Just – in – Time je definována různými způsoby:

- Výrobní strategie, která výrazně snižuje výrobní náklady a zlepšuje kvalitu prostřednictvím eliminace ztrát a efektivního využití podniku.
- Metoda založená na principu, dostat správné materiály ve správném množství a čase.
- Metoda, která eliminuje činnosti nepřidávající hodnotu. Cílem je vysoká produktivita, nulová ztráta a nižší stavy zásob.

Myšlenkou systému JIT je snížení a eliminace ztrát při plánování výroby. Ideální objednávkové množství je rovno jedné jednotce, bezpečnostní zásoby jsou považovány za zbytečné a veškeré zásoby na skladě by měly být minimalizovány nebo odstraněny [8].

V mnoha firmách a společnostech je zavedení metody JIT spojeno se zvýšením produktivity, vyšší úrovní řízení, větší informovaností, operativním plánováním, snížením zásob a výrobků, zkrácením doby výrobního cyklu, snížením nákladů spojených se skladováním a přepravou materiálu, což v podnikové sféře znamená i reálné zvýšení zisku firmy. Systém přináší výhody ve čtyřech hlavních oblastech:

- zvýšení obrátu zásob,
- zlepšení služeb zákazníkům,
- snížení skladovacích prostor,
- zlepšení doby odezvy.

Přestože tyto systémy mají dnes mnoho výhod, nelze popřít, že přinášejí také řadu omezení. Mezi hlavní problematické oblasti patří plánování výrobních závodů, výrobních plánů dodavatelů a umístění dodavatelů. V prvním případě, pokud podnik musí přizpůsobit výrobu v důsledku nerovnoměrné poptávky po výrobcích, bude potřebovat vyšší úroveň zásob. Položky mohou být vyráběny v období nedostatečného prodeje, i když budou potřeba později.

Druhou kategorií problémů spojených s JIT jsou výrobní plány dodavatelů. Úspěch metody závisí na předpokladu, že dodavatelé budou schopni dodávat díly v souladu s výrobním plánem společnosti. V mnoha případech to znamená, že objednávání materiálu v menším množství častěji může zvýšit náklady.

Další problém může vyplynout z geografické polohy dodavatelů. S rostoucí vzdáleností se zvyšuje i variabilita a náchylnost dodacích lhůt. V mnoha případech se také zvyšují náklady na dopravu [8].

## **1.4 KANBAN**

Systém KANBAN je japonskou variantou systému výroby JIT. Kanban je v podstatě štítek, který obsahuje všechny informace potřebné pro výrobu/montáž výrobku v každé fázi a podrobnosti o cestě jeho dokončení. Také plní funkci objednávky i dodacího listu. Systém kanban zaznamená snížení materiálu pro daný úsek a vyšle signál o nutnosti dodání definovaného množství materiálů pro pracoviště. Tento systém usnadňuje vysokou produkci, objem a vysoké využití kapacity při zkrácení výrobních časů. V průběhu procesu dochází k uplatnění metody FIFO (první do skladu, první ze skladu) pro řazení objednávek [4, 35].





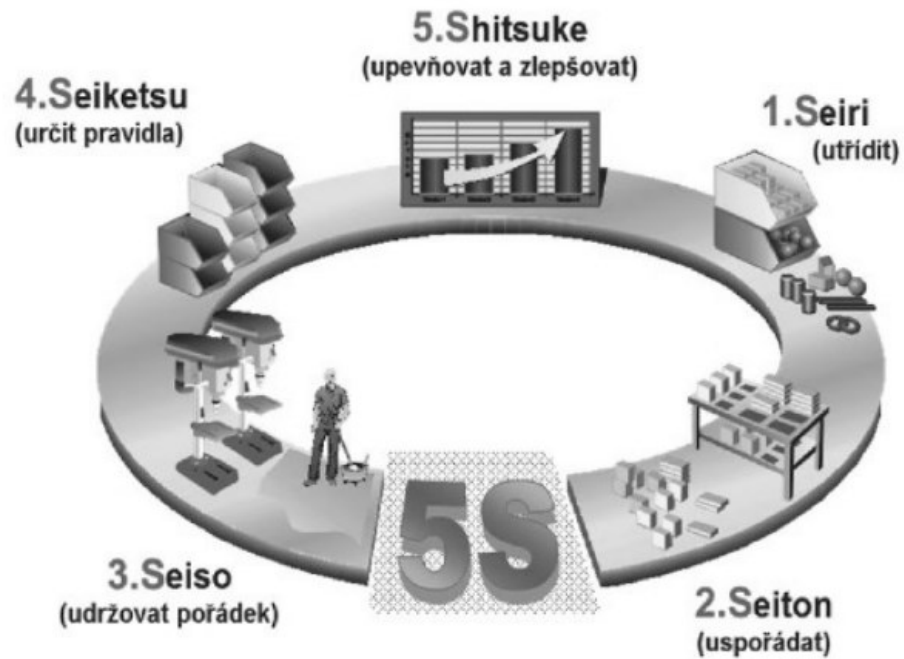
Obr. 2. Princip KANBAN [3535].

## 1.5 Metoda 5S

5S metoda je japonský způsob organizace pracovního prostoru, který je čistý, efektivní a bezpečný a používá se pro dosažení produktivního pracovního prostředí. 5S je výchozím bodem pro každou společnost, která chce být uznávána jako odpovědný výrobce hodný statusu světové třídy.

Metoda 5S zahrnuje pět fází:

- 1) Třídění (Seiri): Odstranění nepotřebných věcí a vyklizení pracoviště.
- 2) Uspořádání (Seiton): Úhledná a systematická příprava potřebných věcí tak, aby je bylo možné snadno vzít a uspořádat a po použití vrátit na původní místo.
- 3) Čistota (Seiso): Pravidelné čištění vybavení a pracoviště, zjišťování nesrovnalostí.
- 4) Standardizace (Seikutsu): Dokumentace a standardizace metody, používání standardních postupů. Standardy by měly být velmi komunikativní, jasné a snadno pochopitelné.
- 5) Udržovat (Shitsuke): Neustálé udržování zavedených postupů, auditování pracovních metod, vytváření návyku 5S [3].



Obr. 3. 5S princip [3].

Jednoduchý, ale účinný postup kvality 5S pomáhá identifikovat a eliminovat plýtvání na pracovišti. Pomáhá také vytvořit a udržet produktivní a kvalitní prostředí v organizaci. Nutí společnosti se zabývat problémy, které jsou často přehlíženy.

Průběžná implementace metody 5S v různých firmách odhalila několik výhod, jako např: zlepšení kvality výrobků a služeb, čisté a produktivní pracovní prostředí, zlepšení údržby a kvality práce, zlepšení kvality výrobků a služeb bezpečnosti, snížení nákladů, zvýšení efektivity a účinnosti procesů, disciplína a lepší zapojení pracovníků do práce [3].

## 1.6 Automatizace a robotika

Automatizace je proces, který nahrazuje fyzickou práci člověka novou technologií. Jde o snahu snížit náklady a zvýšit produktivitu výroby. V dnešní době se automatizace zavádí ve všech odvětvích průmyslu, jako např. automotive, strojírenství, potravinářství, výroba z plastu, dřevovýroba, logistika atd.

Automatizaci lze také chápat jako zavádění řídicích prvků za účelem zefektivnění řízení průmyslových procesů.

Automatizace může sloužit pro inovaci průmyslových podniků i výrobních procesů. Inovace se dělí na technickou a netechnickou. Mezi technické inovace patří organizační, finanční a, odchodní aktivity a mezi netechnické zejména podnikatelské a organizační změny.

Zpravidla je možné automatizovat procesy, které se opakují, mají jasně definovaný obsah i výstup a vyžadují manuální práci [10].



*Obr. 4. Automatizace v praxi [39].*

Robotika je obor, který se zabývá studiem, konstrukcí, designem a programováním robotů. Robotické systémy jako takové nejsou složeny pouze z robotů, ale obsahují další zařízení a systémy, které kooperují společně s roboty.

Roboti se stali v poslední době významným prostředkem pro zvýšení produktivity výroby. Z dlouhodobého hlediska jsou roboti pro firmy ideální adepti na úsporu výdajů [10,11].

### 1.6.1 Automatizovaný výrobní systém

Automatizovaný výrobní systém vykonává operace jako výroba, montáž, manipulace, s minimálním zapojením člověka. Zavedení automatizace se provádí pomocí programů a instrukcí, které iniciují řídicí systém, který může být:

- poloautomatizovaný – sloučení lidské práce i programovatelného zařízení,
- automatizovaný – liší se delší časovou jednotkou bez nutnosti využití člověka.

Dále se automatizace může dělit na:

- Tvrdou automatizaci – obsahuje pevné automatizované systémy, výroba pouze jednoho typu výrobku ve velkém množství. Vyznačuje se vysokými pořizovacími náklady a vysokým objemem výroby. Jedná se o jednoúčelové stroje, typizované automaty.
- Měkkou automatizaci – předstupeň pružné automatizace. Typickým znakem je výroba v dávkách. Mezi každou dávkou musí být systém přenastaven a přeprogramován. Všechny programy jsou uloženy v paměti a při přestavbě je možné mezi nimi přepínat. Příkladem jsou svařovací roboti.
- Pružnou automatizaci – soubor výrobků, který se přizpůsobí náhlým změnám v programu. Typickými příklady jsou roboti a manipulátory. Pružná automatizace je méně produktivní než tvrdá, ovšem umožňuje práci s více typy výrobků [9,15].



*Obr. 5. Automatizace v automobilovém průmyslu [40].*

### **1.6.2 Výhody a nevýhody automatizace**

Mezi výhody automatizace především patří:

- snížení pracovních nákladů,
- zvýšení pracovní produktivity,
- zvýšení bezpečnosti,
- snížení nedostatku pracovních sil,
- snížení výrobních časů,
- zvýšení kvality a přesnosti,
- výroba složitých výrobků,
- snížení rizik neautomatizované výroby [14].

Za nevýhody automatizace lze především pokládat:

- vysoké počáteční náklady,
- neefektivní využití při kusové výrobě,
- při možné chybě pozdní zjištění problému (při nepozornosti produkce vadných kusů po celou směnu) [13,14].

### 1.6.3 Definice robotů a manipulátorů

Úkolem robotů je nahrazení manuální práce, urychlení a přesnost výroby. Zavedením této robotické automatizace je možné dosáhnout efektivního chodu firmy a zvýšení pracovní spokojenosti zaměstnanců.

Vlastnosti robotů jsou následující:

- autonomní chování – roboty jsou schopné vykonávat automaticky sérii úkolů, podle příslušného programu,
- manipulační schopnosti – roboti umí uchytit, přenést a provádět na objektech úpravy, vykonávat montážní prvky a manipulovat s nástroji,
- univerzálnost – jeden robot nemusí sloužit k jednomu účelu, jejich variabilita je široká, díky možnosti přeprogramování,
- vazba s prostředím – pomocí senzorů je robot schopný se přizpůsobit překážkám a problémům v okolí, robot může mít vizuální čidla, akustické, dotekové vazby a oproti člověku i senzorickeou vazbu, která přenáší a vyhodnocuje informace do programu,
- nahrazení lidské práce – jsou schopné vykonávat pohyby rovné typickým úkonům člověka,
- manipulační mechanismy – od jednoduchým manipulačních technik až po přiblížení se schopnostem lidské ruky, včetně ramenního kloubu [11,13].



*Obr. 6. Průmyslový robot KUKA KR 6 [38].*

#### **1.6.4 Průmysloví a servisní roboti**

V současnosti jsou roboti tak vyspělí, že nedochází k výrazným vývojovým skokům. Probíhají pravidelné optimalizace, výměny pohonných jednotek za efektivnější a výkonnější. Mezi významné dodavatele patří společnosti ABB, KUKA, Fanuc nebo Reis [13].

Z hlediska výběru daného typu robota se musí brát v potaz několik hlavních kritérií:

- Nosnost – maximální dovolené zatížení robota, důležité je neopomenout hmotnost efektoru (mechanismus k uchopení součástí).
- Rychlost a zrychlení – důležitým bodem je maximální zrychlení a rychlost koncového bodu robota. Hodnoty potřebné k použití robota jsou dány aplikací.
- Velikost pracovního prostoru – pro manipulaci např. u automobilových průmyslů, je potřeba použít roboty schopné pokrýt velký pracovní prostor, oproti např. robotům pro odběr výrobků z pásu.

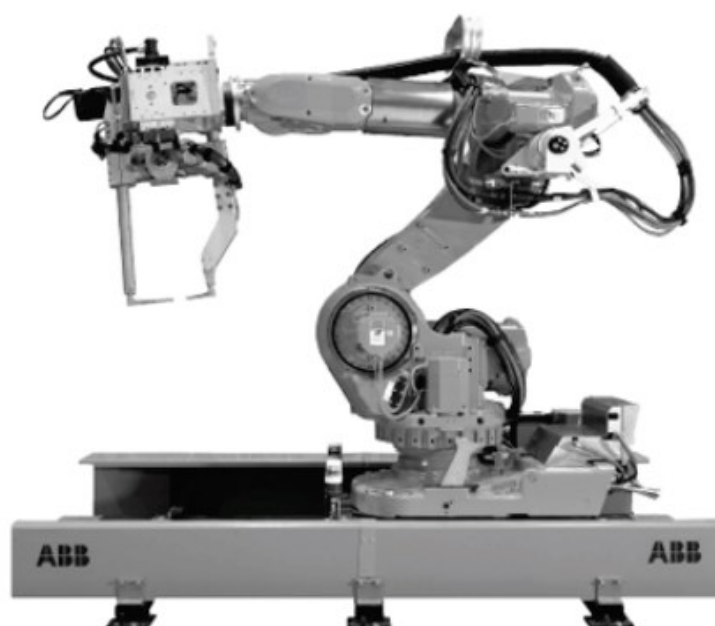
- Tvar pracovního prostoru – konstrukce robotů je přizpůsobena uspořádání okolního pracoviště pro plynulý pohyb. Využívají se roboty angulární (úhlové), sférické (kulové), cylindrické (válcové).
- Typy pohonů – důležitým požadavkem pro roboty je plynulý běh, přesnost polohování, brždění, minimální rozměry a hmotnost atd. Mezi nejčastěji využívaný typ patří elektrické pohonné jednotky. Výhodou je snadná dostupnost zdroje, jednoduchost přivedení k pohonným jednotkám, údržba, výkon. Nevýhodou jsou vysoké požadavky na kvalitu a nebezpečí úrazu elektrickým proudem.

Druhým typem jsou pneumatické pohonné jednotky. Výhodou jsou vysoké rychlosti pohybu, přetížení jednotky bez poškození, jednoduchá a spolehlivá konstrukce, dostupnost zdroje ve formě stlačeného vzduchu. Nevýhodou je problematické řízení pohonných jednotek (zastavení v požadované pozici), drahý provoz.

Nejméně používaným typem jsou hydraulické pohony. Využívají se pro práci s vyšší nosností. Výhodou je jednoduchost řízení, plynulý chod, velký výkon a vysoký tuhost. Nevýhodou je potřeba zdroje v blízkosti pohonné jednotky, výměna kapaliny v závislosti na teplotě a její únik do okolí [12].

- Počet stupňů volnosti – ovlivňují možnosti polohování robotu. Univerzální roboti disponují šesti stupni volnosti. Roboti, které nemají všech šest stupňů volnosti se nazývají deficitní. Roboti s více než šesti stupni volnosti se nazývají redundantní. Z důvodu pořizovacích nákladů se vždy volí roboti s co nejnižším možným počtem stupňů volnosti.
- Umístění pohonných jednotek – jsou umístěny buď v poháněném kloubu nebo v základně robota, kde požadovaný pohyb se přenáší do daného kloubu pomocí převodových mechanismů. Další možností je kombinace dvou předchozích případů [13].





*Obr. 7. Průmyslový ABB robot s efektozem [37].*

Servisní roboti se rozdělují do dvou hlavních skupin:

- 1) Roboti snižující možné riziko zranění
- 2) Roboti usnadňující život

V prvním případě se jedná o roboty pro bezpečnostní složky (pyrotechnika, protichemické jednotky, armáda atd.) nebo v průmyslu tam, kde dochází k ohrožení člověka (průzkum budov po zemětřesení, kontrola technologických zařízení atd.)

Roboti k usnadnění života mají využití např. pro domácí práce, ve zdravotnictví (roboti určené pro manipulaci s pacienty, k operačním výkonům) [12,13].



Obr. 8. Chirurgický robot DaVinci [36].

### 1.6.5 Automaticky naváděné vozíky (AGV)

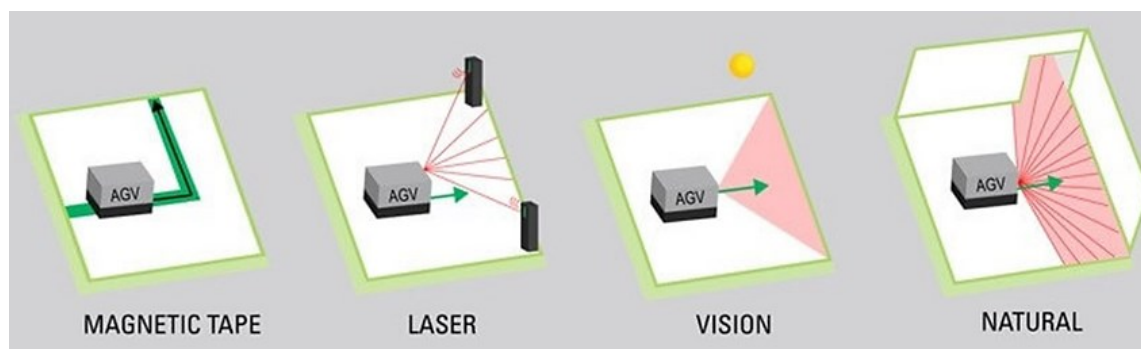
V současné době se pro veškerou manipulaci dílů v logistice začínají čím dál více využívat autonomní vozíky (AGV). Slouží pro převoz materiálu či pro provedení specifických úkolů, ovládané automaticky, bez kontaktu. Jejich provoz umožňují bezdrátové komunikační rozhraní, které dokážou hromadně měnit konfiguraci i řídit provoz. AGV jsou k dispozici v různých modelech a mohou být použity k přemísťování výrobků, k přepravě zboží po celém skladu nebo závodě a k doručování nákladů. Důležitou součástí je zavedení spolehlivé infrastruktury v prostředí. Umí detekovat překážky před sebou, ale prozatím nejsou schopné je obejít [44].

Pohybují se pomocí vodící pásky, navádění pomocí vidění nebo laserové navigace.

Pásky mohou být jednoho ze dvou typů: magnetické nebo barevné. AGV je vybaveno příslušným vodícím senzorem, který sleduje dráhu pásy. Barevná páska je zpočátku levnější, ale postrádá výhodu zabudování v místech s vysokým provozem, kde může dojít k poškození nebo znečištění pásy.

AGV s vizuálním naváděním lze instalovat bez úprav prostředí nebo infrastruktury. Fungují tak, že pomocí kamer zaznamenávají prvky na trase a umožňují AGV přehrát trasu pomocí zaznamenaných prvků k navigaci. Primárními navigačními senzory jsou speciálně navržené stereokamery. Zrakem řízené AGV využívá 360° snímky k vytvoření 3D mapy, která

umožňuje zrakem řízeným AGV sledovat vycvičenou trasu bez lidské asistence nebo přidání speciálních prvků, orientačních bodů nebo polohovacích systémů.



Obr. 9. Typy navádění vozíků [7844].

Pro detekci možné kolize AGV využívají snímače pro zamezení kolizí, aby se zabránilo srážkám s ostatními vozidly AGV. Mezi senzory patří:

- optické, využívají infračervený senzor,
- sonické, fungují jako radar,
- nárazníkové, senzor fyzického kontaktu [44].

## 1.7 Řízení výroby

Řízení výroby znamená působení pracovníků na výrobní systémy s cílem zabezpečit jejich optimální rozvoj a fungování. Řízení výroby se dělí na 2 odlišné přístupy:

- Analytický – základem je předpoklad, že každý celek je možné rozložit na menší části (subsystém), a každou z nich řešit samostatně až dojde k vyřešení celého systému.
- Komplexní – každá menší část se vyznačuje určitou autonomií, ale činnost každé části je neustále spjatá se zaměřením na globální cíle celého systému. Platí pravidlo, že žádný subsystém nesmí zasahovat do jiného subsystému nebo celku, pokud by mohlo dojít k jeho poškození.

Výrobní proces je činnost, která je nastavená za účelem tvorby materiálních i nemateriálních statků k uspokojení požadavků účastníků trhu. Výsledkem výroby jsou služby nebo výrobky. Výrobu lze koncipovat jako proces, který tvoří na vstupu suroviny, materiály a polotovary a výstupy hotové výrobky, služby, ale také odpady včetně emisí a informace o průběhu a výsledku [16].

Důležitým bodem pro řízení výroby v dnešní době je nutnost reagovat na neustále se měnící se podmínky okolí na řízení změn v zájmu firmy udržení postavení svého jména na trhu.

Mezi hlavní body řízení výroby patří:

- optimalizace spotřeby výroby a snižování nákladů,
- maximální zkrácení průběžné doby přípravy a výroby výrobků,
- zabezpečení vysoké produktivity,
- zabezpečení výroby,
- inovace,
- pružnost výroby,
- zdokonalování systému řízení výroby [17,18].

### **1.7.1 Příprava výroby**

Příprava výroby je důležitým a integrujícím prvkem výrobního systému. Závisí na ní tržním úspěchu produktu. Změny, jako např. odstranění chyb, zdokonalení, úprava výrobku, úprava konstrukčního řešení, ve výrobním procesu, lze provést relativně snadno s minimálními finančními náklady.

Samotná příprava se skládá z několika činností od studií, prognóz, tvorby strategie po vytvoření výrobního programu, zajištění kvality a procesů rozvoje. Dále vznikají technické, technologické předpoklady pro vytvoření funkčního produktu, výše nákladů. Správné dokončení přípravy výroby je předpokladem pro její bezproblémové zahájení.

Příprava výroby představuje soubor technologických, technických a ekonomických prvků ve firmě, jejichž účelem je navrhnout efektivní produkci výrobku za příznivé ceny a parametrů tak, aby se prosadil na trhu [18].

Konkrétní příprava se odvíjí od druhu průmyslu a je ovlivněna typem a charakterem výroby. Je možné ji rozdělit na mechanicko-montážní procesy a na chemickou a biochemickou výrobu.

Rozdíly jsou dány finálním výrobkem a vlastními technologickými procesy. U mechanických procesů, dochází ke změnám tvaru, povrchové struktury, rozměrů, zatímco u chemické a biochemické výroby se mění látková podstata vstupních surovin. Tím vzniká produkt zcela nových vlastností a parametrů.

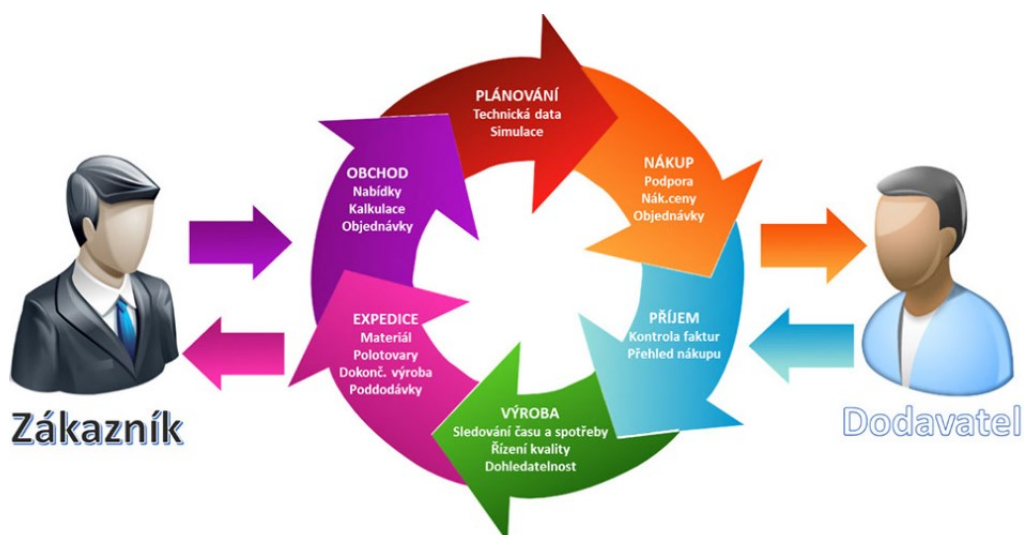
Ohled se musí brát i na množství vyráběných výrobků, zda se jedná o sériovou výrobu nebo kusovou. Příprava výroby linky bude pro každý typ výroby jiná.

Ve výrobě se často objevují opakující se činnosti, a proto se zavádí automatizace přípravy výroby k jeho zjednodušení. Lze ji dělit do tří oblastí:

- 1) automatizace rutinních činností,
- 2) automatizace řízení,
- 3) automatizace tvůrčích činností.

V rámci konstrukční přípravy se využívají tvůrčí i rutinní činnosti, konkrétně při navrhování výrobků, modelování, simulací atd.

Velké množství rutinních činností se objevuje i v technologické přípravě výroby, jako vyhledávání a třídění údajů a výpočtů [18].



Obr. 10. Plán řízení výroby [41].

### 1.7.2 Úrovně řízení výroby

Řízení firmy je proces, který sleduje dané cíle a zajišťuje transformaci vstupních materiálů na konečné produkty. Dalším bodem je zabezpečení optimální výroby s důrazem na využití všech faktorů efektivně [17].

Vlastní řízení je možné rozdělit do tří úrovní, strategické, taktické a operativní.

#### Strategické

Zabývá se strategií vrcholového managementu firmy. Úkolem je stanovit vize a cíle firmy v dlouhodobém časovém intervalu (10–20 let). Hlavními body jsou:

- rozvoj nových technologií,
- zvolení výrobků k prosazení firmy,
- výběr trhů,
- stanovení harmonogramu rozvoje,
- zjištění konkurenční pozice.

Strategie využívají metody optimalizace, jako je SWOT analýza, či JIT.

Strategie řízení podniku má dlouhodobý, ale i dynamický charakter, tzn. přizpůsobení se aktuálním požadavkům trhu i rozvoji technologií a inovacím.

Ve velkém konkurenčním prostředí je nutné, aby se firmy zaměřily nejen na nízkou cenu a vysokou kvalitu, ale také na zlepšení ve všech fázích výroby – konstrukce, přípravy aj. [17].

### **Taktické**

Taktické řízení výroby má za úkol podrobně rozpracovat strategie vytyčené na vrcholové úrovni. Cílem je definovat na taktické úrovni výrobní program s určenými cíli:

- uspořádání strojů, stanovení materiálů a ostatního technického vybavení,
- definitivní rozpoložení vlastní výroby,
- upřesnění výrobního portfolia – přesný počet typů a kusů výrobků potřebné k výrobě,
- konkretizace konkurenčních výhod.

Konkurenční výhody různorodých produktů fungují na principu nabídky široké škály výrobků firmám s cílem uspokojit jejich individuální požadavky a maximalizovat objem prodeje.

Další možností konkurenční výhody je zaměření se na vysokou jakost výroby. Jedná se o stálý vývoj nových produktů. Kombinace vývoje, jakosti a spolehlivosti zvyšuje zájem o firmu a tím i její výnosy. V poslední době začíná být chápání vysoké kvality bráno ve smyslu splnění požadavků zákazníků. Tzn. nenabízet nejvyšší možnou kvalitu na trhu, ale přiměřenou spotřebitelským požadavkům [17].

Populární konkurenční výhodou v dnešní době je zajištění, co nejnižších celkových nákladů, za předpokladu dodržení minimální požadované funkčnosti, bezpečnosti a jakosti výrobku. Náklady jsou většinou ovlivněny následujícími faktory:

- velikost trhu, určující objem výroby,
- výrobní kapacity,
- výrobní spolupráce a kooperace,
- umístění výroby,
- legislativa.

Organizace takto můžou odhalit hlavní zdroje úspor a provést vyhodnocení jejich vlivu kvůli konkurenceschopnosti organizace. Snížení nákladů a prodejní ceny je důležitým bodem, na který slyší velké procento firem [19].

## **Operativní**

Jedná se o nejnižší úroveň řízení výroby. Rozpracovává strategické i taktické řízení až do vlastních podmínek výroby do prostředí dílen a provozů. Důležitou součástí vnitropodnikového řízení. Využívá základní data a informace k bezprostřednímu řízení výroby. Má úzký vztah k vstupním datům řízení podniku. Poskytuje normy a normativy, určené pro stanovení úkolů výroby. Operativní řízení poskytuje informace o dostupnosti výrobních činitelů. Zajišťuje soulad mezi strojními, materiálovými a lidskými zdroji ve výrobě [19,17].

### **1.7.3 Standardizace**

Standardizace v řízení výroby představuje sjednocování jednotlivých prvků procesů, systematický a dynamický proces výběru, řešení, postupy a činitele, informace o výrobním procesu. Objevuje se ve fázi předvýrobní (vývoj, návrh), výrobní i ve fázi prodeje. Zbytečně nadměrné používání vede ke statické koncepci firmy a produkci výrobků, které se na trhu neprosadí. Naopak správné využití vede ke zjednodušení všech fází procesu [16].

Cílem standardizace je omezování a snižování nežádoucích různorodých vlivů a nahodilostí, činností spojených s výrobním procesem, tak aby byly omezeny na účelnou míru. Výsledkem standardizačního procesu je standard (norma, vzor, předpis). Standard je závazné pravidlo pro spotřebu výrobních činitelů ve výrobním procesu. Standardizace má za úkol:

- vybrat nejvhodnější alternativu z možných řešení,
- redukovat počet řešení o zbytečné prvky,
- dosáhnout vyšší stability, opakovatelnosti a jednoznačnosti výrobků,
- optimalizovat parametry výroby z hlediska hygieny a bezpečnosti,
- odstranit fyzicky náročné činnosti [16].



Mezi pozitivní efekty standardizace patří:

- zvýšení technické a ekonomické úrovně,
- lepší využití výrobních činitelů,
- jednodušší evidence,
- obchodní styky s jinými zeměmi,
- zlepšení pracovního prostředí [16].

Metody standardizace jsou následující:

- simplifikace (zjednodušení) – metoda, snažící se o redukci počtu možných variant řešení,
- unifikace – zjednodušení procesů a předmětů za účelem jejich použití u dalších výrobků,
- typizace – výběr procesů nebo předmětů na základě jejich vlastností a parametrů k uspokojení požadavků spotřebitelů,
- specifikace – stanovuje požadavky na vlastnosti výrobků a reálně zjišťuje dané vlastnosti v praxi,
- normalizace – stanovuje nejmenší počet technických řešení opakovaných, optimálních případů (proces, předmět), kdy výsledkem je technická norma.

Normalizace je nejvyšší stupeň standardizace [16].

## 2 OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění studuje a zkoumá souvislosti obráběcího procesu jako výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces lze identifikovat jako subsystémy obráběcích strojů, prostředí, řezných nástrojů a prostředků k manipulaci. Hlavním objektem obráběcího procesu je obrobek a výstupem jsou příslušné obrobené plochy. Výchozí materiál určený k obrábění se nazývá polotovár.

Při obrábění dochází k úběru materiálu břitem nástroje. Tomuto procesu se říká řezání. Rozlišuje se na řezání kontinuální, diskontinuální a cyklické [24,25].

### 2.1 Frézování

Obráběcí metoda, která využívá břity otáčejícího se nástroje, a tím odebrává materiál obrobku. Hlavní pohyb nejčastěji koná nástroj, v kolmém směru. Posuvné pohyby jsou plynule měnitelné a mohou probírat ve všech směrech, díky moderním frézovacím strojům. Řezný proces je přerušovaný, třísky jsou krátké a proměnné tloušťky. V závislosti na nástroji se rozlišuje frézování na válcové a čelní.

Mezi další rozdělení frézování patří sousledné a nesousledné.

Sousledné frézování funguje na principu rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Při vnikání zubů frézy do obrobku vzniká maximální tloušťka třísky. Obrobená plocha se vytváří vyjetím zubu ze záběru. Směr řezných sil míří obvykle směrem dolů.

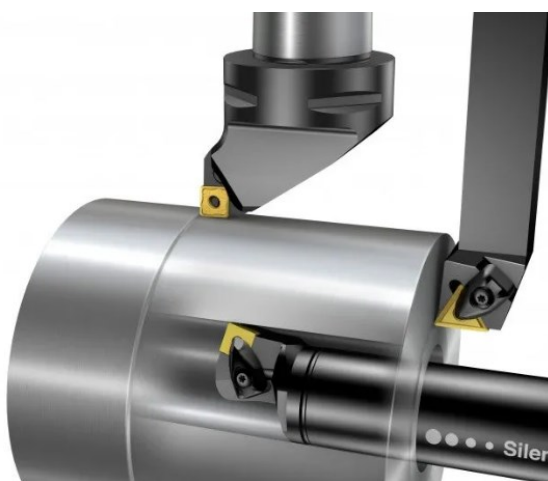
Sousledné frézování může probíhat pouze při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky na adekvátním stroji. Pokud tyto parametry nejsou splněny, způsobuje vůle nestejný posuv, při kterém může dojít k poškození nástroje, popř. stroje.

Smysl nesousledné frézování je v rotaci nástroje proti směru posuvu obrobku. Ke vzniku obrobené plochy dochází vniknutím nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se mění z nulové hodnoty na maximální. K odebrání třísky dochází až po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Při tomto procesu vznikají silové účinky a deformace, které zvyšují opotřebení břitu [27].

## 2.2 Soustružení

Obráběcí metoda, která slouží k výrobě součástí rotačních tvarů. Jako nástroj se ve většině případů volí jednobřité nástroje. Obecně je soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také velmi často využívaný.

Z technologického hlediska pro soustružení platí, že hlavní pohyb je rotační pohyb obrobku. Rychlost tohoto pohybu je rovná řezné rychlosti  $v_c$ . Samotný nástroj vykonává posuvný pohyb, který je přímočarý. Při soustružení čelní plochy se řezný pohyb realizuje po Archimédově spirále, při soustružení válcové plochy po šroubovici a po obecné prostorové křivce při soustružení rotační plochy. Rychlost řezného pohybu  $v_e$  je určena pomocí součtu  $v_c$  a  $v_f$  [21].



Obr. 11. Všeobecné soustružení [32].

Za konstantních otáček obrobku  $n$  a konstantní posuvové rychlosti  $v_f$  při soustružení čelní plochy se bude rychlost řezného pohybu  $v_e$  a řezná rychlost  $v_c$  měnit v závislosti na průměru obráběné plochy. Za konstantních otáček obrobku  $n$  a konstantní posuvové rychlosti  $v_f$  při soustružení válcové plochy bude  $v_c$  a  $v_f$  konstantní.

Řezná rychlost při soustružení závisí hlavně na vlastnostech materiálu, jmenovitě průřezu třísky, řezných vlastnostech materiálu nástroje a trvanlivosti břitu.

V závislosti na tuhosti obrobku se volí co největší posuv na otáčku  $f$ . Při hrubování se volí posuv  $f = 0,4/0,7$  mm, při obrábění na čisto  $f = 0,06/0,3$  mm, při jemném soustružení bývá  $f = 0,005/0,05$  mm. Z hlediska šířky záběru ostří se dbá na vlastnosti obráběného materiálu, způsobu obrábění a tuhost výrobku. Obrábění se volí tak, aby pokud možno byl odebrán přírůstek na jeden záběr [20,28].

### 2.3 Vrtání, zahlubování, vyhrubování a vystružování

Tyto metody se využívají při obrábění válcových děr. Hlavní roli hraje rozměrový nástroj, který svými vlastnostmi a tvarem ovlivňuje parametry obrobene díry. Využití nalézají ve většině případů vícebřité nástroje.

Důležitými parametry u těchto operací jsou řezná rychlost, průměr nástroje, otáčky nástroje a posuvová rychlost. Typickou vlastností pro nástroje na díry je, čím blíže jsou od obvodu směrem ke středu nástroje, tím je menší řezná rychlost.

Vrtání je metoda, která slouží k dodělání nebo k rozšíření již předvrtaných děr. Hlavní rotační pohyb vykonává ve většině případů nástroj, popř. obrobek. Osa vrtáku je kolmá k ploše. Posuv probíhá ve směru jeho osy.

Na vyšší požadavky na přesnost díry slouží výstružníky a výhrubníky. Pro díry do průměru 10 mm stačí pouze výstružníky, u větších děr dochází nejprve k vyhrubování a poté k vystružení. Přídavky závisí na požadované přesnosti a drsnosti povrchu dané díry a na druhu nástrojového a obráběného materiálu [21].

### 2.4 Broušení

Broušení zapadá pod abrazivní metody obrábění, které jsou charakteristické nedefinovanou geometrií břitu. Je to dokončovací operace vyznačující se velkou přesností a velmi dobrou jakostí povrchu. V technologickém odvětví je broušení známo jako vysoce přesná dokončovací operace. Charakteristickým znakem je rozložení zrn brousícího kotouče. Zrna jsou rozložena nepravidelně na celém povrchu a odebírají velké množství malých třísek.

Broušení probíhá za poměrně vysokých řezných rychlostí a má negativní úhly řezu jednotlivých brousících elementů, tím může docházet ke vzniku velkého množství tepla, což může ovlivnit z dlouhodobého hlediska životnost namáhaných povrchů [23].

## 2.5 Materiály pro řezné nástroje

Průmyslové společnosti po celém světě používají při výrobě různé typy materiálů – oceli, slitiny Cu, slitiny Ni, slitiny Ti, slitiny Al, litiny, keramika atd. Největší využití najdou v obrábění – soustružení, frézování, vrtání. Při každém typu operace dochází k úběru třísky, a proto je potřeba břitů s příslušnými vlastnostmi.

Mezi soudobé řezné nástroje je nutné zakomponovat slinuté karbidy, cermety, řeznou keramiku a supertvrdé materiály [22].

### 2.5.1 Slinuté karbidy

Pro výrobu všech typů nepovlakovaných slinutých karbidů (SK) je základním karbidem pro obrábění karbid wolframu (WC). Jako další složky jsou využívány karbidy titanu (TiC), niobu, chromu a tantalu. Pojícím materiálem je kobalt. Nepovlakované slinuté karbidy jsou rozděleny na tři skupiny, a to jednodobé (K), dvojdobé (P) a vícedobé (M).

Skupina K se využívá pro obrábění materiálů krátkou drobnou třískou. Převládá abrazivní a adhezní opotřebení při relativně nízké řezné síle. Pro karbid wolframu platí, že pokud roste teplota potom klesá tvrdost rychleji než u jiných karbidů. Proto nepovlakované slinuté karbidy skupiny K nejsou vhodné pro operace s dlouhou třískou [26].

Skupina P se využívá pro obrábění materiálů s dlouhou třískou. Patří sem např. uhlíkové oceli, slitinové oceli nebo feritické oceli. Pro tuto skupinu jsou typické velké řezné síly se značným opotřebením na čele, a proto se ve velkém množství využívají TiC a TaC. Nevýhodou těchto karbidů je vyšší křehkost a nižší tuhost ve srovnání s WC.

Skupina M je univerzální a má možnost obrábět oba druhy materiálů, jak s dlouhou třískou, tak se střední třískou. Tato skupina má poměrně vysokou houževnatost, a tak se často používá pro těžké hrubovací a přerušované řezy.

Nepovlakované slinuté karbidy se z malého množství využívají pro lehké a dokončovací operace. Jejich nejpoužívanější využití je ve středním až těžkém obrábění, nebo hrubování. Lze je také využít při vrtání a frézování [26].

Povlakované slinuté karbidy se vyrábí přidáním tenké vrstvy s vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebením na podkladový materiál. Výhodou povlakování je, že mají jemnější zrnitost,

menší strukturální defekty a neobsahují žádné pojivo. Metody, kterými lze povlakování rozdělit se dělí do dvou základních skupin:

- Metoda PVD – neboli fyzikální napařování je charakteristická nízkými teplotami (pod 500 °C). Povlak je nejčastěji vytvářen napařováním, naprašováním nebo iontovou implantací.
- Metoda CVD – neboli chemické napařování z plynné fáze probíhá za vysokých teplot (1000-1200 °C). Řadí se jako hlavní metoda povlakování slinitých karbidů a může být: tepelně indukovaná, plasticky aktivovaná, elektronově indukovaná, fotonově indukovaná [26].



*Obr. 12. Povlakované slinité karbidy [29].*

### 2.5.2 Cermety

Název cermet byl odvozený z prvních tří hlásek slov CERamics a METal. Základním cílem kombinace kovu a keramiky je zahrnout žádoucí vlastnosti a potlačit nežádoucí vlastnosti obou materiálů. Keramická složka cermetů zajišťuje vysokou tvrdost za tepla a odolnost proti oxidaci, zatímco kovová složka zvyšuje houževnatost a odolnost proti tepelným šokům.

Výhodou cermetu je vyšší řezná rychlost, ve srovnání s SK.

V průmyslu řezných nástrojů se za cermety považují pouze materiály na bázi karbidu titanu a karbonitridu titanu, zatímco materiály na bázi karbidu wolframu se nazývají cementované karbidy. Dalšími prvky, které cermety využívají jsou molybden, nikl, nitrid titanu a karbonitrid titanu [22].

Nejčastěji používaný cermetový materiál řezných nástrojů je karbid titanu. Spojení keramických složek s kovy, což je složitý proces, závisí do značné míry na rozpustnosti, smáčecích vlastnostech a fázových relacích vybraných materiálů.

Výroba TiC/TiN cermetů se provádí metodami práškové metalurgie, včetně spékání v kapalně fázi, podobnými těm, které se používají pro konvenční karbidy. Stejně jako u cementovaných karbidů vykazuje mikrostruktura cermetu tvrdé částice odolné proti opotřebení, které jsou usazeny v tvárné pojivové fázi a vykazují vysokou houževnatost a odolnost proti šíření trhlin [22].



*Obr. 13. Cermetové břitové destičky [30].*

### **2.5.3 Keramika**

Keramika je definována jako krystalický materiál, s hlavní složkou anorganických sloučenin nekovového charakteru. Pod tuto definici zapadá jak tradiční keramika (oxidová keramika, ferity, nitridy). Tento nový typ keramiky se vyrábí pomocí krystalických látek, jejich výroba probíhá pouze z čistých surovin i chemikálií. Na rozdíl od tradiční keramiky, kde výchozí látky jsou převážně amorfni [22].

Vlastnosti keramiky lze měnit a mixovat, podle požadavků vlastností na aplikaci daného materiálu. Z velké části se keramika využívá pro výrobu řezných nástrojů s využitím převážně těchto vlastností:

- vysoká odolnost a tvrdost proti plastické deformaci,
- dostupnost základních surovin,
- cena,
- vysoká chemická stabilita,
- odolnost proti vysokým teplotám,
- odolnost proti opotřebení,
- nízká hmotnost [22].

Mezi hlavní výchozí materiály patří oxidy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , nitridy  $\text{TiN}$ , karbid  $\text{TiC}$  a  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Typickými vlastnostmi jsou vysoká tvrdost, chemická stabilita, odolnost proti vysokým teplotám, tlaková pevnost a odolnost.

Výroba probíhá na podobném principu jako u SK a cermetů. Rozdíl u keramických výrobků je v tom, že nemají materiál, který by byl schopný spojovat zrna tvrdé fáze do jednotlivého tělesa. Tato problematika velmi znesnadňuje celý výrobní proces, zejména dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu [22].



Obr. 14. Obráběcí nástroje s řeznou keramikou [30].



### 2.5.4 Supertvrde materiály

Tento všeobecný název zahrnuje dva synteticky vyrobené materiály:

- polykrystalický diamant (PKD),
- kubický nitrid bóru (KNB nebo PKNB).

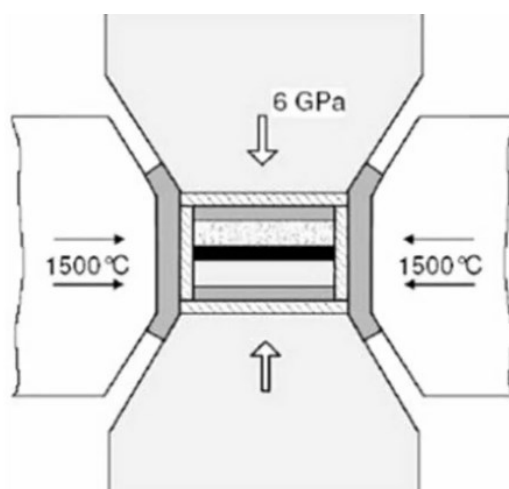
Oba dva materiály jsou typické svou mimořádnou tvrdostí a je možné je tedy využít jako řezné nástrojové materiály, zejména pro speciální aplikace [22].

Pro zvýšení pevnosti a zamezení rychlé degradace diamantu bývají jeho zrna opatřena speciálními kovovými povlaky chromu a titanu. V podobném duchu jsou upraveny KNB.

Mezi hlavní výhody patří:

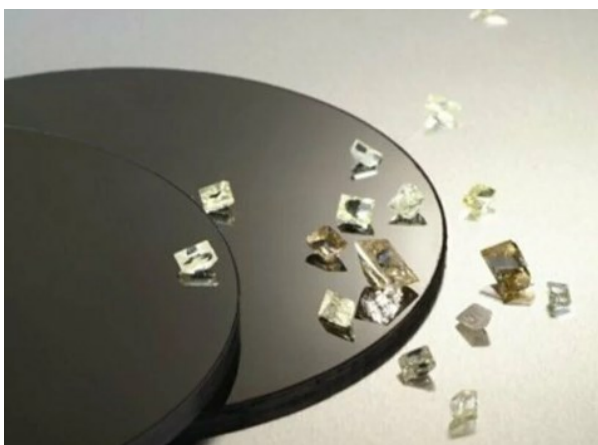
- vysoká odolnost,
- vysoká houževnatost,
- zlepšená adheze zrn mezi KNB a pojivem.

Diamant je známý poměrně nízkou teplotní stálostí (při přesáhnutí  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  se mění na grafit), a proto se ve většině případů používá pro obrábění hliníkových slitin, zejména s vysokým obsahem křemíku, pro obrábění slitin mědi, kompozitů, titanu, keramiky atd. Jako chlazení jsou doporučeny běžné chladicí kapaliny, bez dalších speciálních požadavků. Jediným požadavkem je pomocí čerpadla dodání kapaliny do místa řezu pod vysokým tlakem [26].



Obr. 15. Výroba polykrystalického diamantu [30].

K výrobě vyměnitelných břitových destiček ze supertvrdých materiálů dochází složením dvou vrstev. Na podložku ze SK je nanесena silná vrstva PKNB nebo diamantu. PKNB nabízí výrobu vyměnitelných destiček ve formě kompaktního tělesa. Vlastnosti těchto materiálů jsou ovlivněny velikostí zrna a typem pojiva [22,26].



*Obr. 16. Vylisovaný polotovar polykrystalického diamantu [30].*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 CÍLE PRÁCE

Z důvodu požadavků ze strany zákazníka je nutné u zvoleného dílu, který vyrábí firma Schlote Automotive Czech s.r.o., navýšit jeho denní produkci na téměř dvojnásobek. Aby bylo možné navýšení provést, je nejdříve nezbytně nutné provést optimalizaci procesu výroby. Optimalizace procesu by měla dále vést ke snížení nákladů na energie, nákladových prostředků na nástroje a zlepšení ergonomie pracoviště.

Dílčí kroky v rámci vypracování této diplomové práce byly následující:

1. Zhotovit literární studii na dané téma.
2. Provést analýzu současného stavu výroby.
3. Navrhnout optimalizaci.
4. Zhodnotit navržená řešení.

## 4 POPIS VÝROBKU

Jedná se o válcový díl o průměru 250 mm a výšky 260 mm. Slouží jako kryt statoru v elektromotoru (*Obr 17.*). Váha surového kusu je 5,7 kg a hotového 4,3 kg. Díl je vyrobený z hliníkového materiálu s označením DIN EN 1706- $\text{AlSi9Cu3(Fe)}$ , což je jednou z nejběžněji používaných slitin hliníku na odlévání. Má velmi dobrou obrobitelnost a lze jej tvarovat do složitých forem s vysokou pevností a vynikající odolností proti opotřebení. Je to středně lehká slitina s vysokými fyzikálními vlastnostmi a dobrou odolností proti oxidaci a korozi. Mají vysoký poměr pevnosti k hmotnosti, díky čemuž jsou vhodné pro výrobu velkých dílů.

Kvůli velkému množství prováděných operací bylo potřeba přizpůsobit výrobní linku tak, aby výroba byla co nejrychlejší, plynulá a z důvodu vysoké hmotnosti pro pracovníky, co nejméně fyzicky náročná.



*Obr. 17 Kryt statoru zabudovaný v elektromotoru*

### 4.1 Schlote Automotive Czech s.r.o.

Firma Schlote Automotive Czech s.r.o. vznikla 3.10. 2003. Výroba začala v dubnu roku 2004 v areálu MESIT Holding, a.s. Do roku 2006 byly stroje dováženy z dceřiných firem. K první investici do nových strojů došlo v roce 2007 a v tom samém roce začala stavba nového závodu na vlastním pozemku. Následný rok byla firma přestěhována.

Společnost je zaměřena zejména na třískové obrábění malých, středních i velkých sérií. V současné době je ve firmě 125 zaměstnanců.

Od roku 2015 začala Schlote Automotive Czech s.r.o. zapojovat do své výroby automatizaci.

V roce 2021 první zakázka pro elektromobilitu. [43]



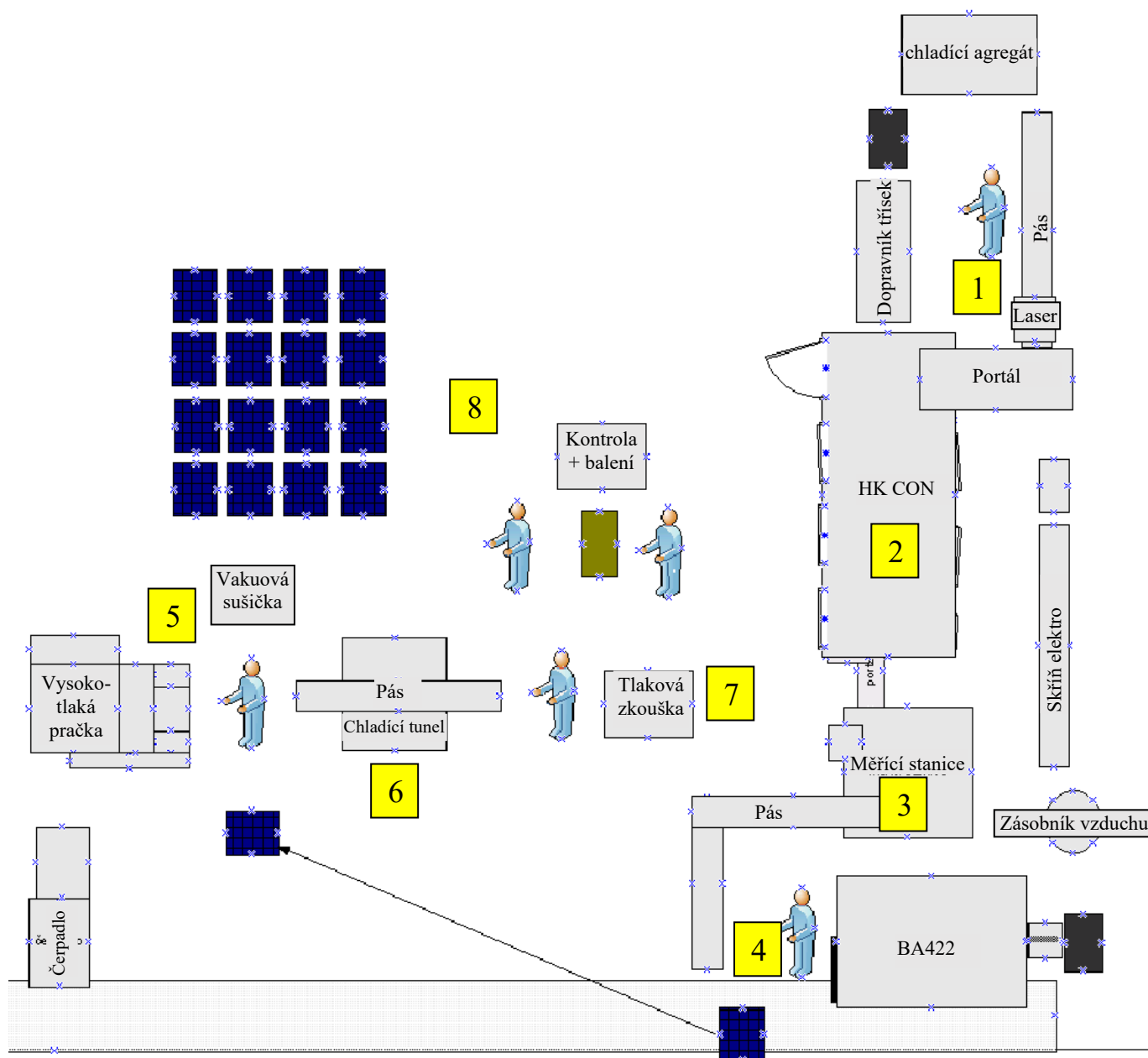
*Obr. 18 Schlote Automotive Czech s.r.o.*

Hlavní zaměření české společnosti skupiny SCHLOTE je obrábění a kalení pro automotive, zejména motorových součástí, hlavních ložisek, těles vstřikovacích čerpadel, dílů pro elektrický pohon, třmenů ložisek klikových hřídelí atd.

Výroba probíhá na CNC obráběcích centrech nebo automatizovaných výrobních linkách [43].

## 5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY

Praktická část začala seznámením se s aktuálním rozložením linky na výrobu součásti motoru do elektroaut.



Obr. 19. Současný stav výroby.

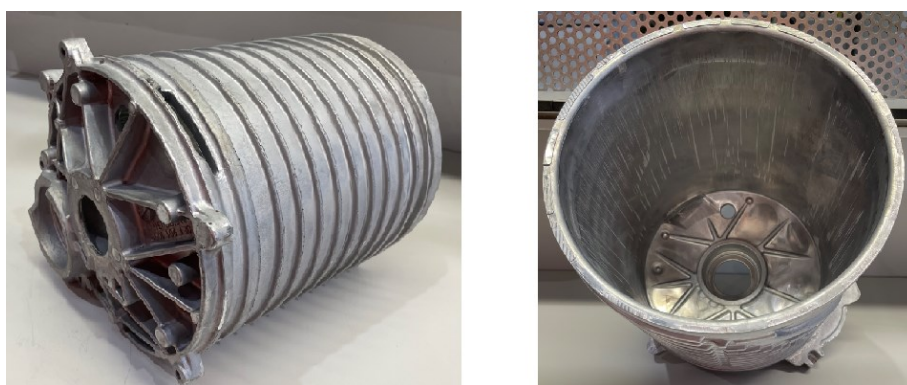
Vysvětlení pro jednotlivé operace je znázorněno v *Tab 1.* níže.

*Tab. 1. Vysvětlení pro dané operace.*

Číslo pracoviště	Pracovní operace	Popis operací	Stroje
2	OP10	Hrubování	HK CON
	OP20	Soustružení, frézování	
	OP30	Dokončování	
4	OP40	Frézování, vrtání	Obráběcí centrum BA422
5	OP50	Praní	Vysokotlaká pračka
	OP60	Sušení	Vakuová sušička
7	OP70	Tlaková zkouška	Tlakové zařízení
8	OP80	Konečná kontrola	
	OP90	Balení	

Stav aktuální výroby dílů do elektroaut je znázorněn na *Obr. 19.* Linka se skládá z osmi základních částí, které budou jednotlivě rozepsány v následujících bodech.

1. Vstup surových dílu (*Obr. 20*) do obráběcí linky. Pracoviště se skládá z laserového zařízení a portálu s chapadlem. Nutná přítomnost dvou pracovníků.



*Obr. 20. Vstupní díl.*

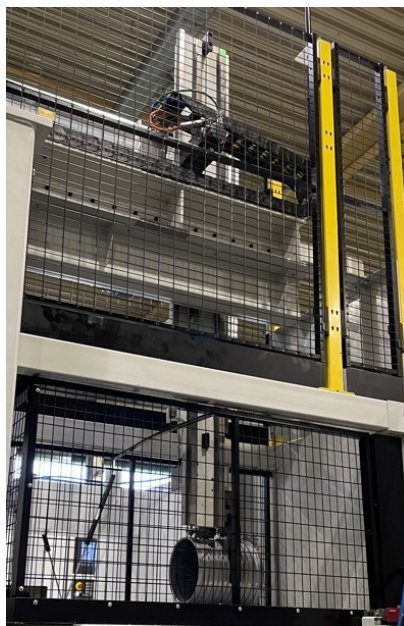


Výroba dílů pro elektromotory do aut začíná převezením surových kusů ze skladu logistiky. Kusy jsou dovezeny do blízkosti dopravníkového pásu, určeného pro surové díly. Před vložením surového kusu na pás je nutné manuálně odjehlit plochy pro správné dosednutí dílu do sklíčidla.



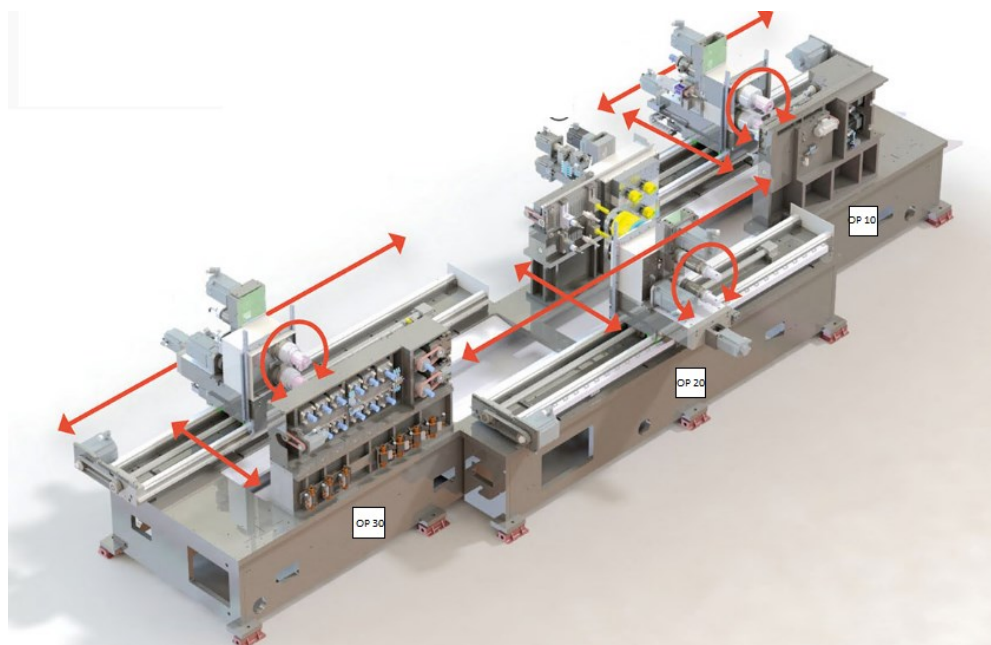
*Obr. 21. Dopravníkový pás na surové kusy.*

Obsluha pokládá takto připravené díly na pás, který směřuje do laserového zařízení, kde je vypáleno sériové číslo každého kusu a DMC kód pro zpětnou dohledatelnost. Po této operaci je kus přenesený pomocí robotického chapadla a poté upnutý do sklíčidla, určeného pro OP10 na soustružnickém jednoúčelovém stroji.



*Obr. 22. Chapadlo s portálem.*

2. Na tomto stanovišti se provádí kompletní soustružnické operace a část frézovacích operací. Skládá se ze soustružnického stroje pro OP10-30, což je speciální zařízení vyrobené pro díl pro zákazníka VW (*Obr. 23.*). Tento 3-vřetenový transferový soustruh umožňuje výrobu ve třech operacích včetně dvou přímých předáních dílů. Díky otočnému vřetenu stroje mohou být vždy tři díly z rozdílných operací obrobena současně. Předání dílů mezi třemi bloky je plně automatizováno, čímž je zabezpečeno přesné založení a upnutí dílu. To umožňuje takřka eliminovat chybu upnutí. Osazení a vykládání dílů je realizováno automatickým pohyblivým portálem s chapadlem. Součástí tohoto stanovišti je elektrická rozvodová skříň pro chod všech strojů, zásobník vzduchu a dopravníkové pásy, které umožňují pohyb dílu mezi dalšími operacemi.



*Obr. 23. Soustružnický speciální jednoúčelový stroj.*

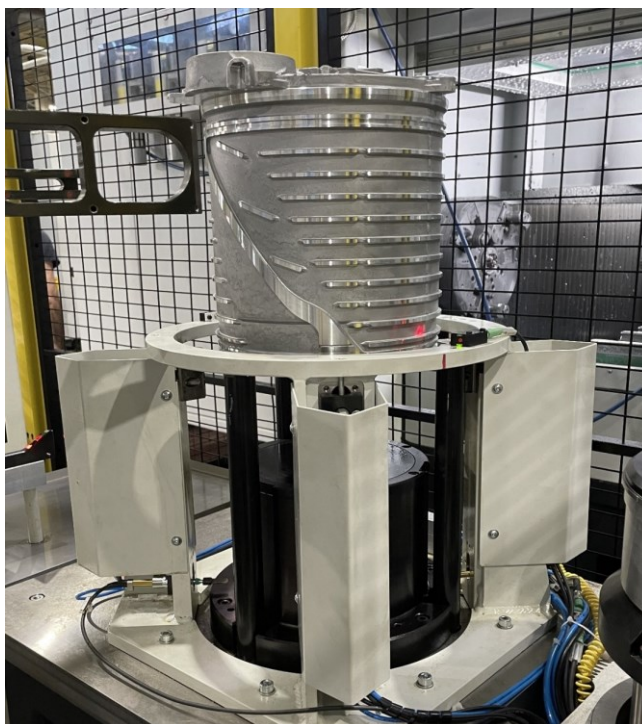
Na OP10 probíhá hrubování vnitřního i vnějšího průměru statoru a průměru otvoru pro ložisko. K tomuto opracování je použito speciálních nástrojů se standardními PKD břitovými destičkami.

Po dokončení OP10 se výrobek automaticky přeupne na upínací kleštinu pro OP20, kde za pomoci tlaku dojde k ustavení a upnutí dílu. Na této operaci se soustruží těsnicí plocha na čisto a drážky určené pro gumové těsnění. Dále se zde frézují plochy k upnutí pro OP30, vrtá se otvor, který je později využíván pro ustavení k upnutí na OP40. Na OP20 je pomocí cirkulárního frézování také opracován přesný průměr potřebný k montáži na jinou součástku. Na OP20 je použito jak soustružnických nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami, tak monolitních PKD frézovacích nástrojů a vrtací frézy s diamantovými destičkami. Po dokončení OP20 dojde k automatickému přeupnutí dílu na OP30.

Pomocí PKD břitových vyměnitelných destiček uložených ve speciálních držácích dochází na OP30 k dokončení, jak vnějších průměrů, včetně kontury, tak k dokončení vnitřního průměru a průměru otvoru pro ložisko.

Po dokončení opracování na OP30 je díl uchopen pomocí chapadla automatického portálu a přesunut do ofukovací stanice, která zbaví výrobek

všech třísek a velkého množství rezné kapaliny. Takto opracovaný a vysušený díl je vložen na překládací přípravek, kde si naprogramovaný robot díl převezme a vloží jej do měřicího zařízení.



*Obr. 24. Měřicí zařízení.*

3. Do třetího stanoviště se řadí měřicí stanice, která má za úkol zkontrolovat správnost kusů vyrobených na soustružnickém stroji OP10-30. K této stanici je přiřčená robotická buňka, což dělá stanoviště 3 plně automatické.

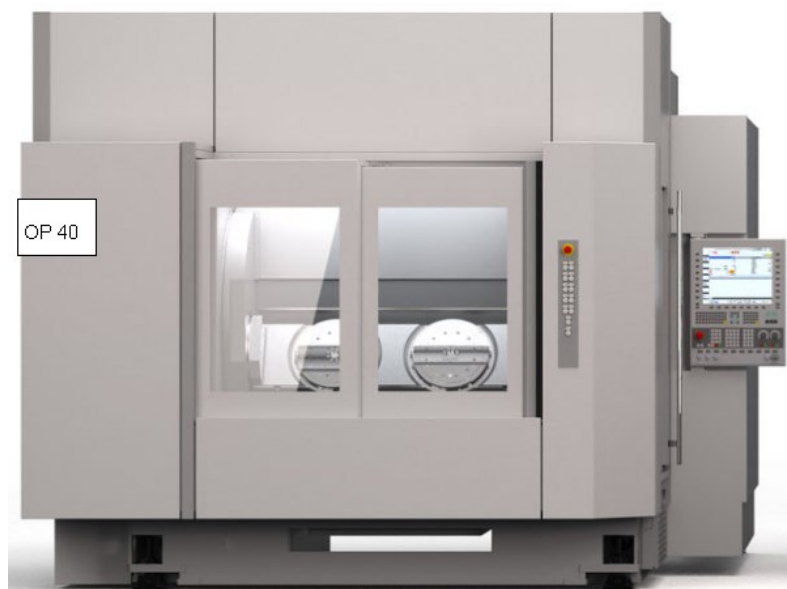
Měřicí zařízení je naprogramováno tak, aby když dojde k naměření hraničních hodnot požadované tolerance, tak zařízení automaticky tuto hodnotu přepočítá a přešle data do CNC programu, který se automaticky upraví na požadované parametry pro přesnou výrobu. Pokud jsou výsledky po nějaké z předešlých operací mimo požadovanou toleranci, celá linka se zastaví a čeká se na operátora, který zkontroluje příčinu odchylky. Tato odchylka může být zapříčiněna nadměrným opotřebením nástroje, popř. nečistotou na měřicí stanici. Pokud měření proběhne bez odchylky, tak stejný robot kus odebere z měřicího zařízení a položí jej na dopravníkový pás, který vede k obráběcímu centru OP40.



*Obr. 25. Vyhodnocení výsledků měřicího zařízení.*

4. Stanoviště 4 se skládá z dopravníkového pásu, které vede k obráběcímu frézovacímu centru OP 40 a potřebuje jednoho pracovníka.

OP40 je vysoce produktivní obráběcí stroj se dvěma vřeteny a přímým pohonem ve všech osách. Díky tomu je možné vyrobit díly za poloviční výrobní čas.



*Obr. 26. Obráběcí frézovací centrum OP40.*

Obsluha si odebere z dopravníkového pásu kusy a po manuálním očištění upínacího přípravku díly vloží do stroje. Na obráběcím frézovacím centru pro OP40 probíhá opracování dvou kusů najednou. Na této operaci se frézují rovinné i tvarové plochy, vrtají a vystružují otvory. Dále je zde závitování a vrtání šikmé díry za pomoci speciální úhlové hlavy. Tato úhlová hlava byla navržena z důvodu snížení investičních nákladů pro přepracování stroje pro pětiosé obrábění.



*Obr. 27. Speciální úhlová hlava.*



*Obr. 28. Díly po obrobení.*

Páté pracoviště se skládá z vysokotlaké pračky OP50 a vakuové sušičky OP60.

5. Vysokotlaké pračky se běžně používají ve strojírenství a mnoha dalších průmyslových odvětvích k čištění různých povrchů, z důvodu vysokých nároků zákazníka na požadovanou čistotu obráběných dílů. Jsou navrženy tak, aby pomocí tlakové vody odstraňovaly z povrchů nečistoty, špínu a další nežádoucí materiály. Skládají se z motoru, který pohání čerpadlo, jež tlakuje vodu. Tlaková voda je pak přiváděna hadicí a tryskou, kterou lze nastavit tak, aby se měnil tlak a směr vodního paprsku. Využívají se k čištění výrobků, zařízení a strojů. Hlavní výhodou vysokotlakých praček je schopnost vyčištění těžko přístupných míst a odstranění nepřípustných otřepů vzniklých po obrábění.

Ve vakuové sušičce probíhá proces sušení pomocí vakuové komory, kde je vzduch vysáván pomocí vývěvy. To umožňuje dosáhnout sušení dílu při nižších teplotách, kratší doby sušení a zároveň zabraňuje oxidaci a degradaci sušeného produktu.

Díly po opracování na OP40 jsou vloženy do gitterboxu, který je po naplnění požadovaného množství převezen ručním paletovým vozíkem k vysokotlaké pračce OP50.

Zde jsou kusy vyprány od nečistot a zbytkových třísek po obrábění. Pomocí vysokého tlaku v pračce jsou z dílu odstraněny i nežádoucí otřepy po opracování. Teplota média v pračce je udržovaná díky termostatu na 35 °C. Do pneumatického přípravku v pračce se vkládají dva díly najednou. Správné dosednutí dílu v přípravku je kontrolováno po upnutí vzduchovou kontrolou.



*Obr. 29. Upnutí dílů ve vysokotlaké pračce.*

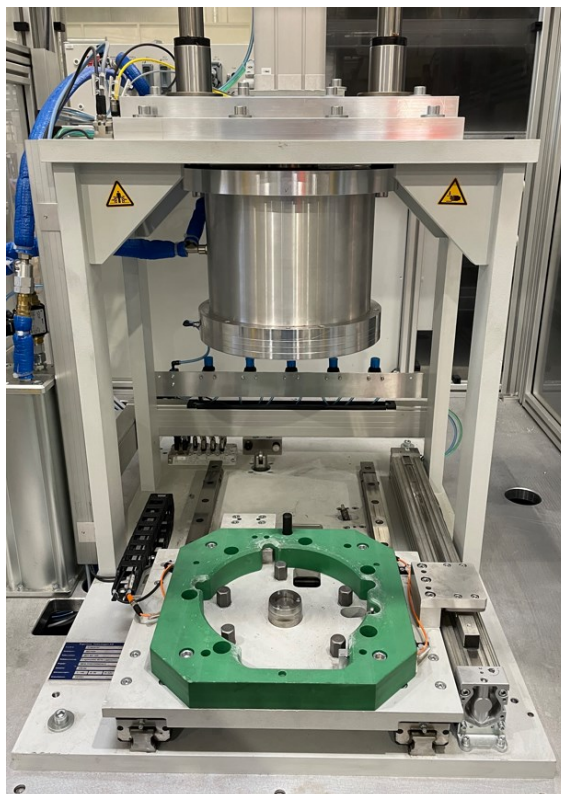
Po vyprání jsou kusy dosušovány ve vakuové sušičce. Vysušené kusy mají teplotu okolo 32°C. Z důvodu takto vysoké teploty jsou díly pro tlakování ochlazovány v průběhovém chladícím tunelu.

6. Součástí šestého stanoviště je chladicí tunel, který zabezpečuje správnou teplotu dílu, která je potřebná pro tlakovou zkoušku.

Tato část procesu je důležitá pro správné vyhodnocování předepsané těsnosti dílu na tlakovém zařízení. Ideální teplotou pro vložení kusu do zařízení pro tlakovou zkoušku je okolo 22°C.

7. Na sedmém stanovišti probíhá tlaková zkouška dílu OP70, která je nutná pro otestování těsnosti výrobků pod určitým tlakem.





*Obr. 30. Tlakové zařízení.*

Po vychlazení dílu obsluha vkládá jednotlivě díly do tlakového zařízení OP70. Zkouška probíhá za použití stlačeného vzduchu s teplotní kompenzací přes O-kroužky a těsnící elementy. Ovládání zařízení probíhá za pomoci dotykového panelu. Po dokončení tlakového procesu měřicí jednotka automaticky vyhodnotí požadovanou těsnost dílu.

Díly, které splní požadovanou těsnost jsou označeny pneumatickým razníkem a obsluha je vkládá do připraveného gitterboxu pro konečnou kontrolu.

Díly, které nesplňují požadovanou těsnost a jsou zařízením vyhodnoceny jako nevyhovující, obsluha odloží na místo pro vadné díly.

Pro pracoviště 5-7 je potřeba mít alespoň dva zaměstnance.

8. Posledním stanovištěm je konečná kontrola a následné balení dílů. Pro tyto práce je potřeba mít vždy minimálně jednoho pracovníka, jak na kontrolu, tak na balení.

Na tomto pracovišti je potřeba 100% díl zkontrolovat na vzhledové vady dle předepsaného katalogu chyb a pomocí čtečky DMC kódu zkontrolovaný díl navést do systému pro zpětnou kontrolu.

V poslední fázi zkontrolované díly obsluha naskládá na paletu, zajistí vázací páskou a zabalí strečovou fólií.



*Obr. 31. Balení obrobeneých dílů.*

Momentálně k zabezpečení obsluhy výrobní linky je potřeba alespoň sedmi pracovníků, jednoho robota a dvou portálových podavačů.

### **5.1 Zhodnocení současného stavu výroby**

Výrobní linka nyní produkuje přibližně 900 kusů za 24 hodin. K výrobě tohoto množství je zapotřebí nejméně 21 pracovníků.

Výroba jednoho kusu trvá přibližně 90 sekund.

Z důvodu požadavků zákazníka na navýšení počtu vyrobených kusů za den na 2000 je potřeba dvojnásobně rozšířit výrobní linku a současně optimalizovat aktuální stav, tak aby linka byla schopná plnit denní normy. Optimalizace by měla dále vést ke snížení nákladů na energii, nákladových prostředků na nástroje a v neposlední řadě zavedení automatizace a zlepšení ergonomie pracoviště.

### 5.1.1 Snížení nákladů na energii

Kvůli vysokým cenám energií bylo potřeba najít možnosti k úspoře ve výrobní lince. Při analýze spotřeby energie byly vytypovány zařízení, které měly vysokou spotřebu, a kde by bylo možnou investicí do nových zařízení tuto spotřebu snížit, tak aby byla pro firmu výhodná.

Energeticky nejnáročnějším zařízením ve stávající výrobní lince je vakuová sušička. Současná spotřeba energie na tomto zařízení je 15 kWh. Roční spotřeba činí 86,5 MWh.

Druhým energeticky náročným zařízením je chladicí tunel s příslušenstvím. Celková hodinová spotřeba energie tohoto zařízení je 9,99 kWh, což znamená, že pro výrobu požadovaného množství dílů za rok je celková roční spotřeba energie 57,5 MWh.

### 5.1.2 Snížení nákladových prostředků na nástroje

Jelikož náklady za nástroje na opracování přesahovaly kalkulované náklady, bylo nutné testováním a hledáním nových dodavatelů, najít takové možnosti, které by tyto náklady snížily.

Pro OP10-30 se pro soustružení využívají nástroje s PKD vyměnitelnými břitovými destičkami. Pro hrubování se používá sedm kusů těchto destiček, kde je nastavena životnost jedné destičky na obrobení 4000 kusů. PKD destičky mají pouze jednu řeznou hranu. Cena za jednu destičku se pohybuje v rozmezí 1500-1800 Kč.

Na OP40 se momentálně používají jednostupňové nástroje, tzn. pro kompletní opracování otvoru s oboustranným odjehlením je potřeba tři nástrojů, které můžeme vidět na následující obrázku (*Obr. 3232*). Čas potřebný pro obrobení otvorů včetně výměny je pro tyto tři nástroje 26 sekund. Celkové náklady na pořízení těchto nástrojů jsou cca 3800 Kč pro osazení jednoho vřetena.



*Obr. 32. Nástroje pro OP40.*

### **5.1.3 Zavedení automatizace**

Při výrobě požadovaného množství vyráběných dílů a komplexní náročnosti výrobní linky bylo zjištěno, že při manuální obsluze by nebylo možné splnit denní produkci. Z tohoto důvodu bude v dalších kapitolách diskutována i možnost zavedení robotizace v rámci výrobního cyklu.

.

### **5.1.4 Ergonomie pracoviště**

Z důvodu hmotnosti obráběného dílu (cca 6,5kg) bylo nutné pracoviště upravit tak, aby se snížily manipulační úkony a vzdálenosti mezi jednotlivými pracovišti. Pro jednodušší manipulaci s dílem bylo navrženo pořízení několika elektrických jednotek.

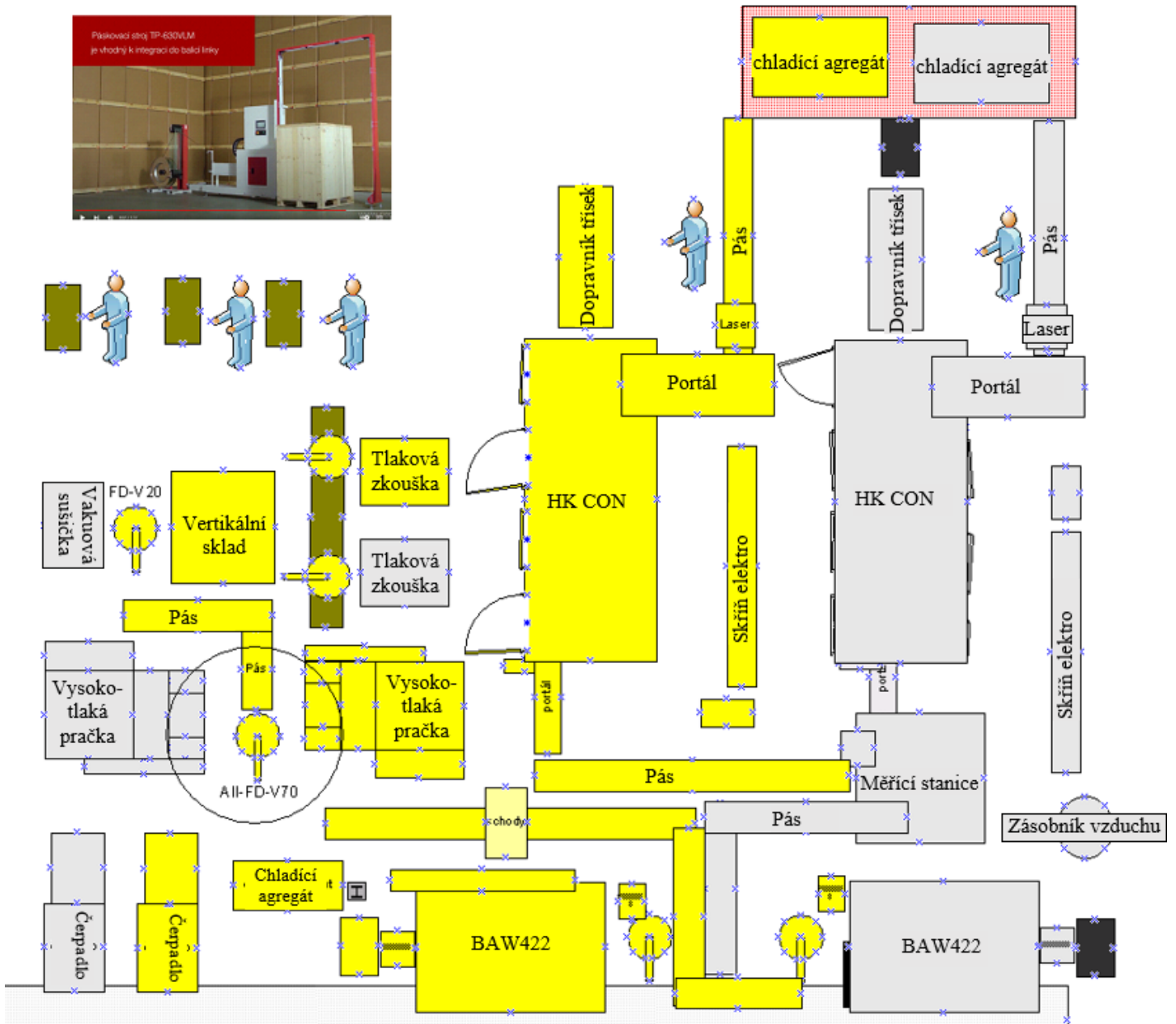
## 6 NÁVRH OPTIMALIZACE VÝROBY

Optimalizace výrobní linky je proces maximalizace efektivity a výkonu výrobní linky při současné minimalizaci nákladů a plýtvání. Zahrnuje identifikaci úzkých a neefektivních míst ve výrobním procesu a implementaci strategií k jejich odstranění nebo snížení. Optimalizací výrobní linky mohou společnosti zlepšit svou konkurenceschopnost, zvýšit ziskovost a zvýšit spokojenost zákazníků tím, že budou dodávat vysoce kvalitní výrobky včas a s nižšími náklady. Mezi běžné strategie optimalizace výrobní linky patří štihlá výroba, automatizace, přepracování procesů a neustálého zlepšování.

Z důvodu navýšení požadavků zákazníka na výrobu dílů, nedostatku pracovního personálu a náročnosti manipulace s dílem z důvodu jeho hmotnosti, je jedním z prvků optimalizace i zavedení automatizace.

### 6.1 Návrh 1 – Částečně automatizovaná linka

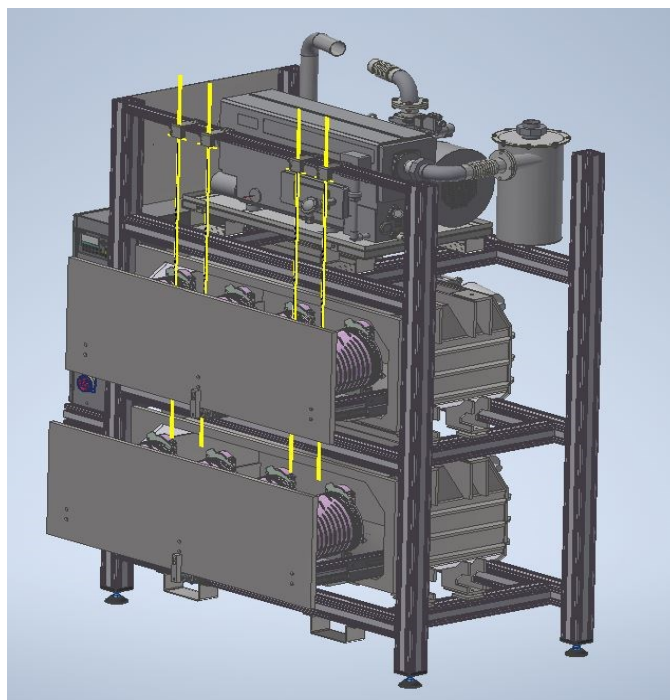
Na *Obr. 33* je šedou barvou znázorněn původní stav výrobní linky, která je podrobně popsána v kapitole 5. Žlutě označené zařízení jsou naplánovány pro realizaci částečně automatizované linky. Oproti původnímu stavu je nejzásadnější pořízení jak dalšího speciálního soustružnického jednoúčelového stroje, tak frézovacího obráběcího centra, vysokotlaké pračky a tlakového zařízení. Zde je již nutná implementace robotizace do výrobní linky.



Obr. 33. Layout podle návrhu 1.

Manuální práce u OP40 bude nahrazena robotem. Odpadá ruční obsluha strojů a následná manipulace s obroběnými díly po OP40. Pohyb dílů mezi následnými operacemi bude probíhat pomocí dopravníkových pásů. Z dopravníkového pásu po OP40 budou díly odebírány dalším robotem, který tyto díly bude vkládat do dvou vysokotlakových praček. Po dokončení pracovního procesu stejný robot díly přeloží na dopravníkový pás, který vede k vakuové sušičce.

Odtud si díly odebere následný robot a vloží je do nově pořízené vakuové sušičky, viz *Obr. 34*. Tato sušička byla pořízena z důvodu vysoké energetické náročnosti původního zařízení. Celková hodinová spotřeba nové sušičky je 9 kWh, což znamená roční spotřebu 51,8 MWh.



*Obr. 34. Nová vakuová sušička.*

Po vysušení stejný robot vloží díly do vertikálního skladu, který byl pořízen jako náhrada za chladicí tunel, kvůli vysoké spotřebě energie. V novém vertikálním skladu jsou díly samovolně ochlazovány za minimální energetické náklady. Spotřeba potřebné energie na toto zařízení je jen 1,3 kWh, tj. 7,5 MWh za rok.

Po vychladnutí budou díly odebrány dvěma pojezdovými roboty a vkládány do tlakových zařízení. Po proběhnutí zkoušky tlakem budou vyhovující díly vloženy na dopravníkový pás pro OK díly a nevyhovující díly budou vkládány na červený pás pro NOK díly. Tyto nevyhovující díly budou obsluhou vkládány do předem určeného vozíku a odváženy do skladu neshodných dílů. Vyhovující díly pracovník odebere z pásu a 100% zkontroluje na vzhledové vady dle katalogu chyb. Ke kontrole dílů je potřeba dvou pracovníků na směnu. Další pracovník zkontrolované díly průběžně balí a připravuje je k odvozu do skladu logistiky.

Na aktuální požadovanou výrobní kapacitu linky by bylo zapotřebí mít alespoň 12 pracovníků na směnu.

Díky automatizaci bude na této lince potřeba pouze pěti zaměstnanců a minimalizována náročnost na ruční manipulaci s díly.

Nevýhodou automatizace budou počáteční náklady na pořízení robotů a kompletní automatické linky. Pro plynulý chod výrobní linky je navržen nákup šesti robotů. Cena za pořízení jednoho robota je cca 750 000 Kč a realizace automatizace celé výrobní linky zahrnuje investici 12 mil. Kč.

### 6.1.1 Ekonomické zhodnocení návrhu 1

Vyhodnocení úspory energie zakoupením nové vakuové sušičky a chladičího tunelu je znázorněno níže v *Tab 2.* a *Tab 3.*

*Tab. 2. Spotřeba energie vakuové sušičky.*

	Název zařízení	Příkon	Provozní doba (počet hodin za rok)	Spotřeba energie za rok	Cena spotřebované energie za rok
<b>Původní stav</b>	Vakuová sušička R50305	2x 7,5 kWh	5760 hod.	86,5 MWh	432 500 Kč
<b>Navrhnutý stav</b>	Vakuová sušička Atoll	9 kWh	5760 hod.	51,8 MWh	259 000 Kč

Pořízením nové vakuové sušičky se ročně uspoří 173 500 Kč. Pořizovací cena navrhované sušičky je 1 mil. Kč. Návratnost investované částky je šest let.

*Tab. 3. Spotřeba energie chladičího tunelu.*

	Název zařízení	Příkon	Provozní doba (počet hodin za rok)	Spotřeba energie za rok	Cena spotřebované energie za rok
<b>Původní stav</b>	Sestava chladičího tunelu	9,99 kWh	5760 hod.	57,5 MWh	287 500 Kč
<b>Navrhnutý stav</b>	Automatický vertikální sklad	1,3 kWh	5760 hod.	7,5 MWh	37 500 Kč



Pořízením nového vertikálního skladu se ročně ušetří na energiích 250 000 Kč. Pořizovací cena skladu je 1,1 mil. Kč s návratností investované částky za 4 roky.

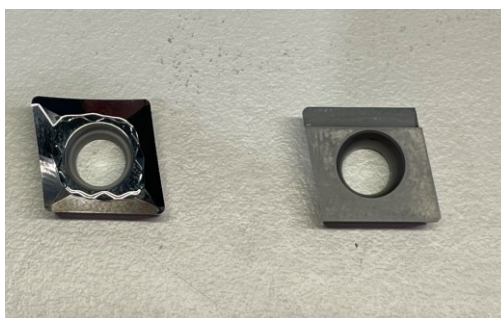
Nejvyšší částka vynaložená pro nástroje na opracování je pro hrubovací operace. Pro tuto operaci se nyní používají PKD břitové destičky. Nyní se testují jako alternativa tvrdokovové břitové destičky, které mají mnohem nižší cenu a možnosti využití dvou řezných hran. I přes předpokládanou nižší životnost břitových destiček může být cena za nástroj na vyrobený kus mnohonásobně nižší. Při výměně za tvrdokovovou variantu musí zůstat zachována kvalita obrábění

*Tab. 4. Porovnání břitových destiček.*

	Název zařízení	Životnost	Počet řezných hran	Počet použitých plátků	Cena destičky na vyrobený kus
<b>Původní stav</b>	PKD břitové destičky	4000	1	7	3,2 Kč
<b>Navrhnutý stav</b>	VHM břitové destičky	1800	2	7	0,45 Kč

Nevýhodou při použití VHM je častější výměna nástroje, a tím malé snížení produktivity. Jelikož takto snížená produktivita neohrozí výrobu požadovaného denního množství jeví se tato optimalizace jako výhodná.

Roční úspora pro výrobu požadovaného množství kusů (480 000 kusů ročně) by výměnou VHM břitových destiček za PKD byla 1,3 mil. Kč.



*Obr. 35. Porovnání břitových destiček.*

Další možná optimalizace nástrojů je návrh speciálního tvrdokovového vrtáku pro OP40, který by mohl nahradit tři stávající nástroje (vrták, odjehlovací nástroj a zpětný odjehlovací nástroj).



*Obr. 36. Vrtání otvoru na OP40.*

Pořizovací cena tohoto nástroje by byla cca 2 600 Kč. Hlavní výhodou implementace tohoto speciálu by byla možnost ušetření strojního času, z důvodu nižšího počtu výměny z magazínu nástrojů.

## **6.2 Návrh 2 – Plně automatizovaná linka**

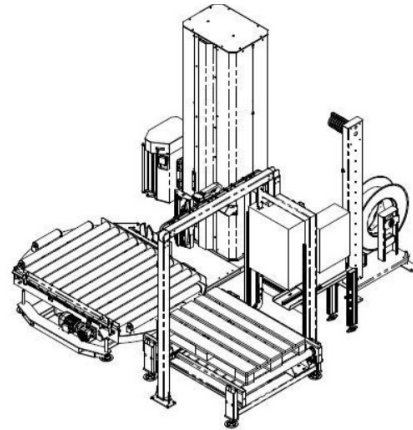
Pokud by se firma rozhodla investovat s velkým rizikem návratnosti do plně automatizované linky, tak by bylo možné nahradit pracovní sílu i pro manipulaci surových dílů a také nahradit pracovníky potřebné ke konečné kontrole a balení.

V neposlední řadě by bylo možné automatizovat i veškerý pohyb dílů pomocí automaticky naváděných vozíků AGV.

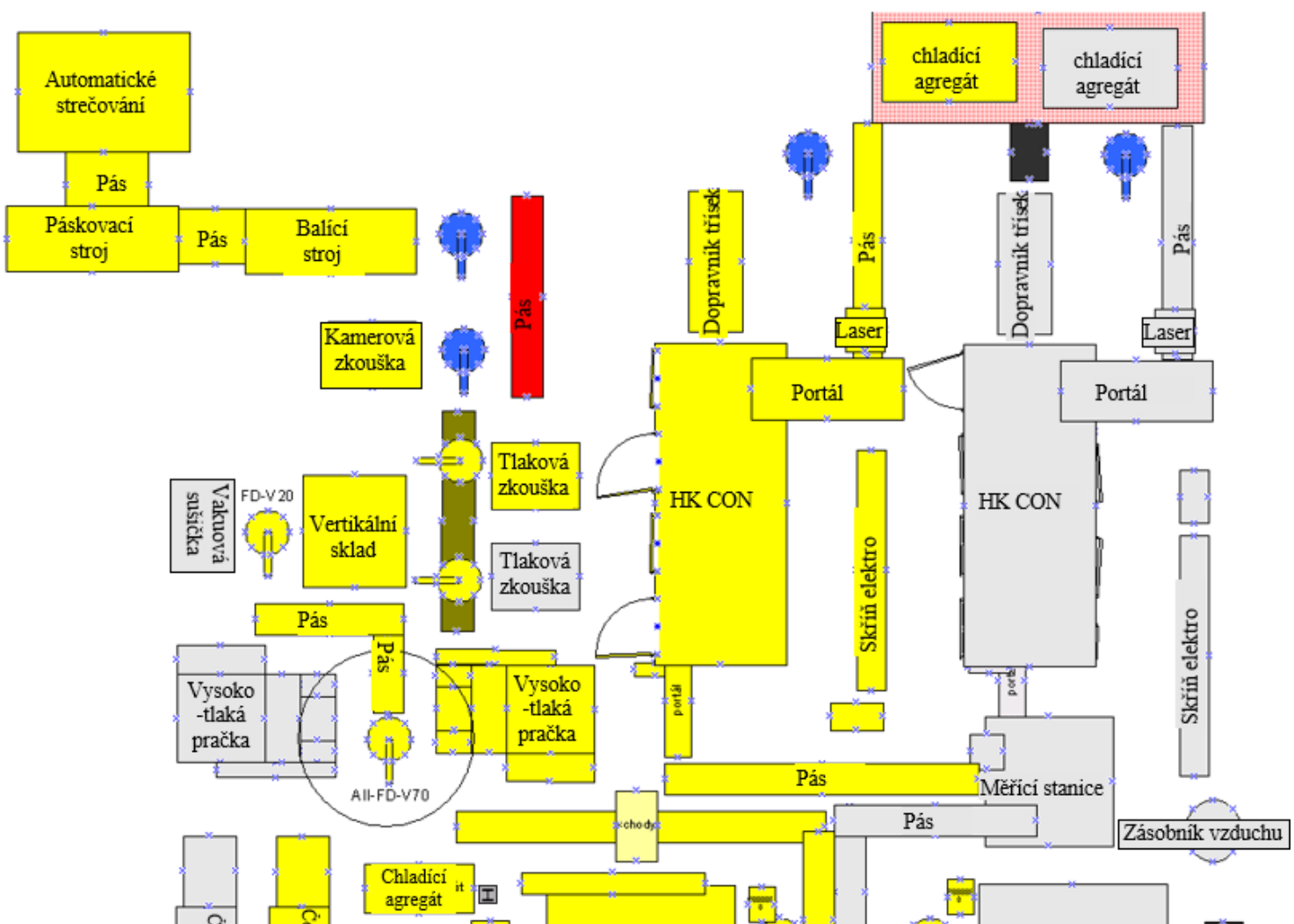
Pracovníky na začátku linky by pro vkládání surových dílů mohli nahradit roboti, kteří by odebírali surové díly přímo z připravených palet a vkládali díly na dopravníkový pás.

Konečná kontrola by mohla být nahrazena pomocí sestavy kamerového systému na rozpoznání vad, dle předem zadaných dat uložených ve vyhodnocovacím zařízení. Manipulace potřebná ke konečné kontrole a balení by byla prováděna pomocí dvou robotů.

Balící proces by bylo možné automatizovat díky použití speciálního zařízení určeného jak pro balení, páskování, tak strečování dílu na připravené paletě.



Obr. 37. Speciální zařízení pro kompletní balení.



Obr. 38. Layout podle návrhu 2.

Jelikož přesuny palet často vyžadují bezpečný a rychlý převoz dílů ze skladu do výroby nebo z výroby do skladu, případně do expedice, bylo by nejlépe navrhnout automatický paletový vozík. Vzhledem k tomu, že AGV pracují s přesně řízenou navigací, zrychlováním a zpomalováním, minimalizuje se tím možnost poškození, což z nich činí vynikající volbu pro tento typ aplikací.



*Obr. 39. Automatický paletový vozík [44].*

Úkolem, a hlavně výhodou tohoto paletového vozíku by bylo nahrazení náročné, přesné a zodpovědné lidské práce pro zásobování surových dílů k výrobní lince a také odvoz kompletně zabalených dílů.

K obsluze kompletně automatizované linky by bylo zapotřebí pouze jednoho vyškoleného pracovníka, který by se staral o chod linky a udržení stabilního procesu.

Zavedením takto vybavené linky by došlo k úplnému odbourání lidské manipulace s daným dílem.

Při realizaci automatizace dle návrhu 2 by bylo ušetřeno celkem 11 zaměstnanců na směnu.

Z hlediska investic by bylo potřeba pořídit celkem 10 robotů, kompletní kamerový systém, automatické balící zařízení a jeden automatický paletový vozík.

Cena za kamerový systém by byla 10 mil. Kč, pořízení automatického paletového vozíku by firmu stála 3 mil. Kč a balící zařízení 1 mil. Kč.

Návrh 2 je rozšířením původní optimalizace uvedené v návrhu 1. V této variantně se počítá s plnou automatizací, kde bude potřeba pouze jeden seřizovač na směnu.

### **6.2.1 Ekonomické zhodnocení návrhu 2**

K realizaci by bylo potřeba pořízení dalších čtyř robotů v celkové hodnotě 3 mil. Kč, sestava kamerového systému pro konečnou kontrolu v hodnotě 10,8 mil. Kč. Další investicí by byl nákup automatického balícího zařízení za 1,3 mil. Kč, AGV za 3,5 mil. Kč a kompletní uvedení do provozu by vyšlo na 4 mil Kč.

Celkový nákup všech položek pro rozšíření plně automatizované linky včetně uvedení linky do provozu by vyšel na 22,6 mil. Kč.

Plná automatizace ušetří dalších pět pracovníků na směně, což by ušetřilo ročně 4,3 mil. Kč.

Návratnost této dodatečné investice by byla za necelých šest let.

## 7 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉ OPTIMALIZACE

Po vyhodnocení dvou návrhů se firma rozhodla pro investování do zařízení potřebných dle návrhu 1.

Tento návrh zahrnuje investici za pořízení šesti robotů, dalšího speciálního jednoúčelového obráběcího stroje, frézovacího stroje, vertikálního skladu, zařízení pro tahovou zkoušku a investici za uvedení automatické linky do provozu.

Firma dosáhne mnohem lepší bezpečnosti a ergonomie pracoviště. Denní produkce se díky zavedení návrhu 1 se zvýší na 2000 kusů.

Celková cena této investice do automatizace je 22 mil. Kč. Díky zavedení automatické linky bude počet zaměstnanců na této lince zredukován o 7.

Při průměrné hodinové mzdě 150 Kč bude úspora za jednu směnu 8 400 Kč, což činí roční úsporu asi 6 mil. Kč.

Návratnost investované částky do automatizace je za necelé čtyři roky.

Výměnou břitových destiček KD za VHM dojde za rok k úspoře 1,3 mil Kč.

Zakoupením nové vakuové sušičky a vertikálního skladu firma ročně ušetří na energiích 423 500 Kč.

Díky zavedení této automatizace a pořízení příslušných zařízení firma ušetří až 10% ceny na jeden kus výrobku.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byla optimalizace procesu výrobní linky pro součásti motoru do elektroaut.

První část diplomové práce je zaměřena na teoretickou studii. Zde jsou probírány základní metody optimalizace, její automatizace, robotizace a řízení výroby. Dále se zaměřuje na metody obrábění a materiálů pro řezné nástroje.

Druhá část diplomové práce začíná popisem současného stavu výrobní linky a pracovním postupem stávající výroby. Dále se praktická část věnuje základní analýze této výrobní linky.

Kvůli zvýšeným požadavkům zákazníka na dodávané zboží bylo nutno výrobní linku rozšířit a zároveň navrhnout možnou optimalizaci pro snížení nákladů a naplnění výrobní kapacity. K tomu byly navrženy dvě varianty, a to částečná automatizace a úplná automatizace výrobní linky.

Po vyhodnocení těchto variant a zvážení všech výhod a nevýhod se i přes nutnou vysokou počáteční investici rozhodlo pro realizaci dle prvního návrhu. V návrhu se výrobní linka optimalizovala pořízením šesti robotů a zavedením automatizace, které nahradili práci sedmi pracovníků na směně. Díky tomuto návrhu došlo zároveň k navýšení výrobních kapacit. Cena za pořízení robotů a zavedení automatizace vyšla na 22 mil. Kč. Úspora za manuální obsluhu je cca 6 mil. Kč za rok. Návratnost počáteční investice je za necelé čtyři roky.

Návrh 2, kde byla navržena kompletní automatizace je prozatím z důvodu velkých investic a dlouhé návratnosti nevyužita. V automobilovém průmyslu je velké riziko investovat do takových projektů, kvůli krátkodobým spolupracím se zákazníkem. Tato varianta navrhuje pořízení dalších čtyř robotů, kamerového systému pro konečnou kontrolu, automatického balícího zařízení a automatického paletového vozíku (AGV). Celková cena této investice by byla 22,6 mil. Kč. Výhodou by bylo ušetření dalších pěti zaměstnanců na směnu, což dělá 4,3 mil. Kč ročně. Návratnost je spočítána na šest let.

Optimalizace se obecně dále věnovala investicí do nových zařízení pro úsporu energie. Byla pořízena nová vakuová sušička v hodnotě 1 mil. Kč. Úspora energie na tomto zařízení je 173 500 Kč ročně, tzn. návratnost za šest let.

Druhá investice do zařízení pro snížení energie je pořízení vertikálního skladu, nahrazujícího stávající chladicí tunel. Cena nového zařízení je 1,1 mil. Kč s roční úsporou 250 000 Kč a návratností za 4 roky.

Poslední navrhovanou optimalizací je úspora nákladů za obráběcí nástroje a zkrácení obráběcího času na OP40.

Momentálně probíhá testování použití tvrdokovových břitových destiček, které by mohly nahradit drahé PKD destičky. Navrhovaná změna břitových destiček by mohla ročně uspořit 1,3 mil. Kč při požadované roční produkci dílů.

Na OP40 je navržena možná výměna tří stávajících nástrojů za jeden speciální, který by tyto tři nástroje nahradil. Optimalizace by přinesla zkrácení obráběcího času asi o 15 sekund.

Při dokončení realizace automatizace bude nutné se u konečné kontroly ještě zaměřit na ideální ergonomii pracoviště z důvodu náročnosti při manipulaci s daným dílem.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AGV Automatic guided vehicles

$v_c$  Řezná rychlost

$v_f$  Posuvová rychlost

$f$  Posuv na otáčku

$n$  Otáčky vřetene

JIT Just in time

Cu Med'

Ni Nikl

Ti Titan

Al Hliník

PDK Polykrystalický diamant

CNC Computer numerical control

VW Volkswagen

kWh Kilowatthodina

SK Slinuté karbidy

WC Karbid wolframu

TiC Karbid titanu

K Jednokarbidové

P Dvojkarbidové

M Vícekarbidové

TaC Karbid tantalu

TiN Nitrid titanu

KNB Kubický nitrid bóru

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 8086851389.
2. SVOZILOVÁ, Alena. *Projektový management*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3611-2.
3. Cristina Veres (Harea), Liviu Marian, Sorina Moica, Karam Al-Akel, Case study concerning 5S method impact in an automotive company, *Procedia Manufacturing*. *5S method impact* [online]. ISSN 2351-9789, 2018 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.127>
4. *LEAN SYSTEMS – An Introduction to Lean Management Systems and its Business Applications* [online]. 2021 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/351711085\\_LEAN\\_SYSTEMS\\_-\\_An\\_Introduction\\_to\\_Lean\\_Management\\_Systems\\_and\\_its\\_Business\\_Applications#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/351711085_LEAN_SYSTEMS_-_An_Introduction_to_Lean_Management_Systems_and_its_Business_Applications#fullTextFileContent)
5. KOTLER, Philip a Kevin Lane KELLER. *Marketing management*. [4. vyd.]. Přeložil Tomáš JUPPA, přeložil Martin MACHEK. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4150-5.
6. Boonyarat Phadermrod, Richard M. Crowder, Gary B. Wills, *Importance-Performance Analysis based SWOT analysis*, *International Journal of Information Management* [online]. ISSN 0268-4012, 2019 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.03.009>
7. *On a correlative and evolutionary SWOT analysis* [online]. 2019 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMA-02-2019-0026/full/pdf?title=on-a-correlative-and-evolutionary-swot-analysis>

8. *Just-in-Time Static Analysis: Lisa Nguyen Quang Do, Karim Ali, Benjamin Livshits, Eric Bodden, Justin Smith, and Emerson Murphy-Hill* [online]. 2017 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1145/3092703.3092705>
9. ŠVARC, Ivan, Miloš ŠEDA a Miluše VÍTEČKOVÁ. *Automatické řízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3491-2.
10. What is Automation? *The International Society of Automation* [online]. 2022 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.isa.org/about-isa/what-is-automation>
11. *Robotics Institute of America* [online]. 2013 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.ri.cmu.edu/>
12. SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008] [cit. 2023-05-06]. ISBN 978-80-248-1522-0.
13. *ADEPT TECHNOLOGY, Inc. Industrial robots* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://automation.omron.com/en/us/products/category/robotics>
14. *Robotic Process Automation Wil M. P. van der Aalst • Martin Bichler • Armin Heinzl* [online]. 2018 [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12599-018-0542-4>
15. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 9788021448285.
16. 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.

17. BESTA, Petr a Jindřich HAVERLAND. *Řízení výroby a logistika - řešené příklady*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2017. ISBN 978-80-248-4077-2.
18. CHROMJAKOVÁ, Felicita a Rastislav RAJNOHA. *Řízení a organizace výrobních procesů: kompendium průmyslového inženýra*. Žilina: Georg, 2011. ISBN 978-80-89401-26-0.
19. KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.
20. MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 9788025479803.
21. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
22. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 9788025422502.
23. ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání: pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-2883-9.
24. VASILKO, Karol a Jan MÁDL. *Teorie obrábění*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012. ISBN 978-80-7414-459-2.
25. WALKER, John R. a Bob DIXON. *Machining fundamentals*. 9th ed. Tinley Park, IL: Goodheart-Willcox Company, 2014. ISBN 978-1-61960-209-0.
26. *Tool materials*. Editor J. R. DAVIS. Materials Park: ASM International, 2015. ASM specialty handbook. ISBN 0871705451.
27. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

28. *Machining: fundamentals and recent advances*. Editor J. Paulo DAVIM. London: Springer, c2008. ISBN 9781848002128.
29. *Slinuté karbidy* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03007.html>
30. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2023-05-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/>
31. NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
32. *Sandvik coromant* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz>
33. *The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/200552295\\_The\\_Toyota\\_Way\\_in\\_Services\\_The\\_Case\\_of\\_Lean\\_Product\\_Development#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/200552295_The_Toyota_Way_in_Services_The_Case_of_Lean_Product_Development#fullTextFileContent)
34. BAUER, Miroslav. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 978-80-265-0029-2.
35. Kanban systém. *Manufactus manufacturing solutions* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.kanban-system.com/cs/kanbanovy-system-a-kontrola-tahem/>
36. *Da Vinci Robotic-Assisted Surgery* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.intuitive.com/en-us/patients/da-vinci-robotic-surgery>
37. Průmysloví roboti. *Embedded* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.embedded.com/>

38. *Průvodce robotizací* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/v>
39. *Leadec automatizace* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://czech-republic.leadec-services.com/cs/automatizace>
40. *Průmyslové roboty ABB* [online]. [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.elpakupecek.cz/>
41. *Řízení výroby. Efidex* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.efidex.cz/rizeni-vyroby.html>
42. *SCHLOTE HOLDING GMBH* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.schlote-gruppe.com/cs/schlote-gruppe-allgemeine-informationen-cs-cz/schlote-holding-gmbh-cs-cz.html>
43. *SCHLOTE AUTOMOTIVE CZECH S.R.O.* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.schlote-gruppe.com/cs/schlote-gruppe-allgemeine-informationen-cs-cz/schlote-automotive-czech-s-r-o-cs-cz.html>
44. *Robotech engineering* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.robotech.cz/post/agv-automaticky-%C5%99%C3%ADzen%C3%A9-voz%C3%ADky>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Výrobní systém Toyoty [33].</i>	12
<i>Obr. 2. Princip KANBAN [35].</i>	17
<i>Obr. 3. 5S princip [3].</i>	18
<i>Obr. 4. Automatizace v praxi [39].</i>	19
<i>Obr. 5. Automatizace v automobilovém průmyslu [40].</i>	21
<i>Obr. 6. Průmyslový robot KUKA KR 6 [38].</i>	23
<i>Obr. 7. Průmyslový ABB robot s efektozem [37].</i>	25
<i>Obr. 8. Chirurgický robot DaVinci [36].</i>	26
<i>Obr. 9. Typy navádění vozíků [44].</i>	27
<i>Obr. 10. Plán řízení výroby [41].</i>	30
<i>Obr. 11. Všeobecné soustružení [32].</i>	35
<i>Obr. 12. Povlakované slinuté karbidy [29].</i>	38
<i>Obr. 13. Cermetové břitové destičky [30].</i>	39
<i>Obr. 14. Obráběcí nástroje s řeznou keramikou [30].</i>	40
<i>Obr. 15. Výroba polykrystalického diamantu [30].</i>	41
<i>Obr. 16. Vylisovaný polotovar polykrystalického diamantu [30].</i>	42
<i>Obr. 17 Kryt statoru zabudovaný v elektromotoru</i>	45
<i>Obr. 18 Schlote Automotive Czech s.r.o.</i>	46
<i>Obr. 19. Současný stav výroby.</i>	47
<i>Obr. 20. Vstupní díl.</i>	48
<i>Obr. 21. Dopravníkový pás na surové kusy.</i>	49
<i>Obr. 22. Chapadlo s portálem.</i>	50
<i>Obr. 23. Soustružnický speciální jednoúčelový stroj.</i>	51
<i>Obr. 24. Měřicí zařízení.</i>	52
<i>Obr. 25. Vyhodnocení výsledků měřicího zařízení.</i>	53
<i>Obr. 26. Obráběcí frézovací centrum OP40.</i>	53
<i>Obr. 27. Speciální úhlová hlava.</i>	54
<i>Obr. 28. Díly po obrobení.</i>	54
<i>Obr. 29. Upnutí dílů ve vysokotlaké pračce.</i>	56
<i>Obr. 30. Tlakové zařízení.</i>	57
<i>Obr. 31. Balení obroběných dílů.</i>	58
<i>Obr. 32. Nástroje pro OP40.</i>	60
<i>Obr. 33. Layout podle návrhu 1.</i>	62
<i>Obr. 34. Nová vakuová sušička.</i>	63

<i>Obr. 35. Porovnání břitových destiček. ....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 36. Vrtání otvoru na OP40. ....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 37. Speciální zařízení pro kompletní balení. ....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 38. Layout podle návrhu 2. ....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 39. Automatický paletový vozík [44]. ....</i>	<i>68</i>



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Vysvětlení pro dané operace. ....</i>	48
<i>Tab. 2. Spotřeba energie vakuové sušičky. ....</i>	64
<i>Tab. 3. Spotřeba energie chladicího tunelu. ....</i>	64
<i>Tab. 4. Porovnání břitových destiček. ....</i>	65