

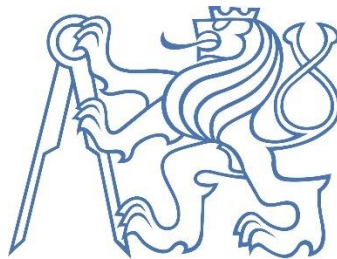
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

**Možnosti nasazení prvků konceptu průmyslu 4.0  
v rámci měrového střediska velkosériové výroby**

Diplomová práce



Autor: Štěpán HOLUB  
Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství  
Vedoucí práce: Ing. Jan Urban

Praha 2019

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Holub	Jméno: Štěpán	Osobní číslo: 424789
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávající katedra/ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie		
Studijní program:	Strojní inženýrství		
Studijní obor:	Výrobní a materiálové inženýrství		

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Možnosti nasazení prvků konceptu průmyslu 4.0 v rámci měrového střediska velkosériové výroby		
Název diplomové práce anglicky:	Possibilities of Deployment of Concept elements Industry 4.0 within the measurement center in Mass production		
Pokyny pro vypracování:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Provedení rešerše dostupných prvků vhodných pro bezobslužný provoz měrového střediska</li><li>2. Volba vhodných prvků pro automatickou manipulaci s měřenými díly</li><li>3. Volba vhodného bezobslužného dopravního systému v rámci měrového střediska</li><li>4. Návrh konkrétní studie dispozičního řešení oddělení kontroly kvality.</li></ol>		
Seznam doporučené literatury:	Dostupné vědecké publikace z databázi knihovny ČVUT		
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:	Ing. Jan Urban, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS		
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:			
Datum zadání diplomové práce:	02.04.2019	Termín odevzdání diplomové práce:	19.07.2019
Platnost zadání diplomové práce:			
 Ing. Jan Urban podpis vedoucí(ho) práce	 Ing. Libor Beránek, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	 prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)	

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen 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.

<u>23.4.2019</u> Datum převzetí zadání	<u>Holub</u> Podpis studenta
---	---------------------------------

## Anotační list

Jméno autora:	Štěpán HOLUB
Název diplomové práce:	Možnosti nasazení prvků konceptu průmyslu 4.0 v rámci měrového střediska velkosériové výroby
Rok:	2019
Studijní program:	Strojní inženýrství
Obor studia:	Výrobní a materiálové inženýrství
Ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí:	Ing. Jan Urban
Bibliografické údaje:	počet stran: 66 počet obrázků: 28 počet tabulek: 12

### Klíčová slova:

Průmysl 4.0, automatizace, CMM, kontrola kvality, analýza časové náročnosti

### Anotace:

Hlavním cílem této práce je poskytnout přehled prvků konceptu Průmyslu 4.0 a ukázat jejich možné využití v rámci pracoviště zabývajícím se kontrolou kvality. Práce zahrnuje zhodnocení stávajícího stavu měrového střediska, včetně analýzy časové náročnosti úkonů. Další část práce se věnuje možnému dispozičnímu řešení střediska s použitím automatizovaných prvků za účelem zvýšení produktivity. Práce také zahrnuje hrubé ekonomické zhodnocení projektu.

## Annotation

Author: Štěpán HOLUB

Title of thesis: Possibilities of Deployment of Concept elements  
Industry 4.0 within the measurement center in Mass  
production

Year: 2019

Study program: Mechanical engineering

Institute: Department of machining, process planning and  
metrology

Supervisor: Ing. Jan Urban

Bibliographic data: pages: 66  
images: 28  
tables: 12

### Key words:

Industry 4.0, automatization, CMM, quality control, time analysis

### Abstract:

The main objective of this thesis is to provide a description of concept elements Industry 4.0 and show their application in the manufacturing facility dealing with quality control. It provides an assessment of current state of the quality control center including the time analysis. Another part of this thesis proposes possible layout solutions in order to increase productivity using automated elements. Gross economic calculation of the investment is included.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 19. 7. 2019

  
\_\_\_\_\_

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Janu Urbanovi za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce. Déle bych chtěl poděkovat všem zúčastněným kolegům ze společnosti Škoda Auto za ochotu, umožnění realizace této diplomové práce a za přínosné odborné konzultace projektu.

## Obsah

1	Úvod .....	9
2	Průmysl.4.0.....	10
2.1	Stupně průmyslové revoluce .....	10
2.1.1	První průmyslová revoluce.....	10
2.1.2	Druhá průmyslová revoluce .....	10
2.1.3	Třetí průmyslová revoluce .....	10
2.1.4	Čtvrtá průmyslová revoluce .....	11
2.2	Termín průmysl 4.0 .....	11
2.3	Základní principy průmyslu 4.0 .....	11
2.3.1	Interoperabilita .....	12
2.3.2	Virtualizace.....	12
2.3.3	Decentralizace.....	12
2.3.4	Řízení v reálném čase .....	12
2.3.5	Orientace na služby.....	12
2.3.6	Modularita.....	13
2.4	Kyber - fyzikální systémy (CPS).....	13
2.5	Internet věcí (IoT).....	14
2.5.1	Prediktivní analýza .....	15
2.5.2	Optimalizace údržby stroje .....	15
2.5.3	Optimalizace zařízení v reálném čase .....	15
2.6	Big Data .....	15
3	Kontrola kvality s využitím CMM .....	17
3.1	Druhy konstrukce kartézských CMM .....	18
3.1.1	Stojanový typ.....	18
3.1.2	Výložníkový typ .....	18
3.1.3	Portálový typ .....	18
3.1.4	Mostový typ .....	18

3.2	Prokazování shody a neshody se specifikacemi .....	19
4	Manipulační technika .....	20
4.1	Průmyslové roboty .....	20
4.1.1	Kartézská geometrie .....	20
4.1.2	Cylindrická geometrie .....	21
4.1.3	Sférická geometrie .....	21
4.1.4	Kloubový robot .....	22
4.1.5	SCARA robot .....	23
4.1.6	Delta geometrie .....	23
4.2	Dopravníky .....	23
4.2.1	Pásový dopravník .....	23
4.2.2	Válečkový dopravník .....	24
4.2.3	Lamelový a řetězový dopravník .....	25
4.3	AGV .....	26
4.3.1	Metody navigace .....	26
4.3.2	Výhody a nevýhody AGV vozíků .....	27
5	Systémy řízení environmentu .....	29
5.1	Tlumení strojů .....	29
5.2	Řízení teploty laboratoře .....	29
5.3	Sledování teploty dílu .....	30
5.3.1	Dotykové senzory .....	31
5.3.2	Bezdotykové senzory .....	32
6	Podnik Škoda Auto a.s. ....	36
7	Středisko kontroly kvality .....	37
7.1	Analýza současného stavu oddělení kontroly kvality ve společnosti Škoda Auto a.s. ....	37
7.2	Předpoklady pro automatizaci střediska .....	40
7.3	Analýza časové náročnosti jednotlivých úkonů .....	41
8	Návrh automatizované dopravy dílů do střediska .....	46



8.1	Doprava dílů na středisko .....	46
8.1.1	Tunelové AGV.....	46
8.1.2	Paletový vozík AGV.....	48
9	Návrh automatizované dopravy dílů v rámci střediska.....	50
9.1	Návrh layoutu varianta 1.....	50
9.1.1	Zhodnocení varianty 1.....	51
9.2	Návrh layoutu varianta 2.....	51
9.2.1	Zhodnocení varianty 2.....	52
9.3	Návrh layoutu varianta 3.....	53
9.3.1	Zhodnocení varianty 3.....	54
9.4	Návrh layoutu varianta 4.....	55
9.4.1	Zhodnocení varianty 4.....	56
9.5	Návrh layoutu varianta 5.....	57
9.5.1	Zhodnocení varianty.....	57
9.6	Ekonomické zhodnocení varianty 3 .....	58
10	Závěr.....	61
11	Bibliografie .....	63

# 1 Úvod

Díky rozvoji moderních technologií dochází v průmyslu v posledních letech ke komplexním změnám. Zvětšuje se možnost využití inteligentních systémů, bezdrátové komunikace nebo uchování a zpracování dat. Jednotlivé prvky výrobního systému získávají schopnost samostatně se rozhodovat a být tak autonomní jednotkou výrobního celku. Využitím těchto kyber-fyzikálních systémů je umožněn vznik výrobních a logistických uspořádání s vysokou produktivitou, která byla dříve nedosažitelná. Celý tento současný proces změn v průmyslu lze označit jako čtvrtou průmyslovou revoluci – průmysl 4.0. Tento proces však také přináší řadu výzev pro všechny výrobní podniky. Aby mohla být udržena dlouhodobá konkurenceschopnost podniku, je třeba se intenzivně zabývat možnostmi využití nových technologií průmyslu 4.0. Zachytit tento proces včas je obzvláště důležité pro podniky a velkosériové výroby, kde může aplikace prvků průmyslu 4.0 přinést značné úspory nákladů. Mezi tyto podniky bezpochyby patří i firmy pohybující se v automobilovém průmyslu. Jedním ze základních předpokladů efektivní výroby je zajistit dostatečnou přesnost dílů, proto jsou v automobilovém průmyslu průběžně měřeny a kontrolovány vyráběné díly s využitím souřadnicových měřicích strojů. Tato práce se zabývá možností využití prvků průmyslu 4.0 pro dopravu dílů na souřadnicové měřicí stroje a zpět do výroby. Praktická část byla realizována v rámci měrového střediska ve společnosti Škoda Auto v Mladé Boleslavi.

## 2 Průmysl.4.0

### 2.1 Stupně průmyslové revoluce

Tato kapitola popisuje jednotlivé etapy průmyslové revoluce. Obsahuje stručný přehled historie průmyslu a ojasňuje důvod označení současné revoluce jako čtvrté.

#### 2.1.1 První průmyslová revoluce

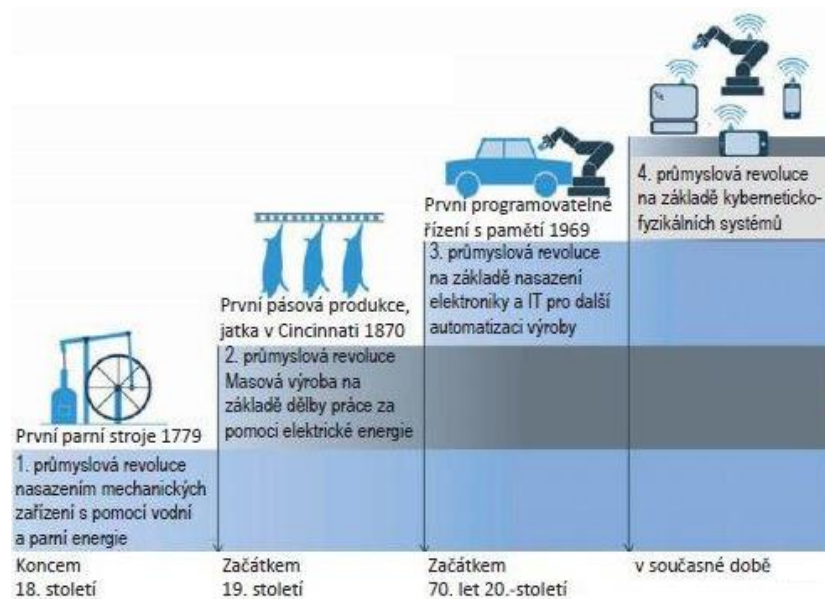
První průmyslová revoluce propukla na konci 18. století. Docházelo k postupnému přesunu od ruční výroby v manufakturách ke strojní výrobě. Tento proces je označován jako *industrializace*. Je umožněn využitím nových zdrojů energie – například energie získaná spalováním uhlí přenášená pomocí vodní páry. Vynález parního stroje je připisován Jamesi Wattovi a spadá do roku 1765. Postupná industrializace vedla k významným společenským, kulturním a politickým změnám [1].

#### 2.1.2 Druhá průmyslová revoluce

Začátek druhé průmyslové revoluce nastal kolem roku 1870. Je charakterizována vysokou úrovní dělby práce a využitím elektrické energie. K novým vynálezům patří žárovka (Thomas Alva Edison – 1879), asynchronní motor (Nikolas Tesla – 1888), benzinový motor (Gottlieb Deimler – 1883 až 1886) a první automobil (Henry Ford – 1896) [1].

#### 2.1.3 Třetí průmyslová revoluce

Třetí průmyslová revoluce byla charakterizovaná postupným přechodem od mechanismům k automatům. Jako její začátek je uváděn rok 1969, kdy byl poprvé vyroben programovatelný logický automat – PLC. Třetí průmyslová revoluce byla charakterizována digitalizací, automatizací a robotizací. Zároveň dochází k vývoji nových výrobních postupů – 3D tisk, reverzní inženýrství [1].



Obrázek 1 Jednotlivé stupně průmyslové revoluce [2]

#### 2.1.4 Čtvrtá průmyslová revoluce

Základní myšlenky čtvrté průmyslové revoluce pochází z roku 2011, představena byla v Hannoveru v roce 2013. Je založená na využití kyberneticko-fyzikálních systémů, kde jsou fyzikální subjekty řízené systémem spolupracujících výpočetních prvků. Dochází k rozšířenému využití internetu, včetně internetu věcí (IoT) a internetu služeb (IoS). Očekává se růst produktivity až o jednu třetinu [1].

#### 2.2 Termín průmysl 4.0

Změny v průmyslu a ekonomice způsobené zaváděním informačních systémů, kyberneticko-fyzikálních systémů a umělé inteligence jsou označovány jako průmysl 4.0. Tento pojem vznikl v Německu jako spolupráce společnosti Siemens a německé vlády s cílem propagace vývoje nových technologií pro automatizaci průmyslu a domácností. Následně se tento pojem rozšířil i do dalších zemí a začal mít poměrně rozsáhlý dopad jako sjednocující označení vývoje nových technologií. Vznik nových technologií je kontinuální, ale před vznikem pojmu průmysl 4.0 nebylo pro tento proces jednotné označení, které by bylo známo nejen odborné, ale i laické veřejnosti [2].

#### 2.3 Základní principy průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 lze charakterizovat šesti základními principy, které jsou využívány při návrhu výrobních systémů k digitalizaci a automatizaci systému. Jejich stručný popis je uveden v této podkapitole.

### **2.3.1 Interoperabilita**

Interoperabilita je schopnost všech prvků výrobního systému spolu vzájemně komunikovat a vyměňovat si data. Zahrnuje lidi, výrobní stroje a kyber-fyzikální systémy. Interoperabilita umožňuje využít získávaná data pro lepší a rychlejší rozhodnutí. Bez interoperability zůstávají cenná data nevyužitá pouze v jednom, nebo ve více zařízeních [3] [4].

### **2.3.2 Virtualizace**

Virtualizace spočívá ve vytvoření „digitálního dvojčete“ fyzikálního světa. Díky snímání procesů a výrobních zařízení je možné propojit zjištěná data s virtuálním modelem nebo simulací procesu. Díky tomu je možné daný proces optimalizovat ve virtuálním prostředí, vylepšit výrobní proces a zrychlit zavádění nových produktů [3].

### **2.3.3 Decentralizace**

Jednotlivé systémy jsou schopné fungovat autonomně a rozhodovat se podle současné situace tak, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku. Dříve využívaná koncepce centralizace má svá omezení. Centralizovaný systém není dostatečně flexibilní, není jednoduché zvýšit jeho kapacitu a celý systém může selhat v důsledku jedné chyby. V decentralizované architektuře je systém řízen prostřednictvím jednotlivých uzlů, které řídí další komponenty a subsystémy. Uzel se přizpůsobuje okolnostem a předává data pomocí vzájemné komunikace (peer to peer) [3] [4].

V plně decentralizované architektuře je všechna potřebná logika začleněna přímo do subsystému nebo komponentu, takže může vykonávat svou funkci a koordinovat aktivitu s ostatními systémy. Zatímco řízení je decentralizované, tyto systémy se stále spoléhají na centrální systém komunikace a uchovávání dat. Díky využití uzlů je jednodušší systém rozšířit prostým přidáním více uzlů [4].

### **2.3.4 Řízení v reálném čase**

Cílem Průmyslu 4.0 je řízení procesů v reálném čase. Vyžaduje monitorování procesů, sběr a zpracování dat a schopnost systému reagovat. Pro správné fungování celku musí mít zařízení a systémy přehled o současné situaci. Toto je umožněno interoperabilitou zpracováním pomocí virtualizace. Pro získávání potřebných dat jsou využívány například RFID identifikátory, senzory a skenery umístěné na produktech, manipulačních zařízeních, vysokozdvihných vozících a robotech [3] [4].

### **2.3.5 Orientace na služby**

Díky internetu věci mohou jednotlivé prvky výrobního systému (firmy, lidé, kyber-fyzikální systémy) poskytovat služby ostatním prvkům výrobního systému. Tyto služby mohou být interní i externí.

Například v systému, kde AGV vozíky převáží výrobky mezi středisky montáže je možné tvrdit, že AGV vozíky i střediska montáže poskytují výrobku službu. [3].

### **2.3.6 Modularita**

Důležitým znakem výrobních systémů je schopnost flexibilně se přizpůsobit měnícím se požadavkům a dalším okolnostem. Návrh produktů i výrobních systémů má být takový, aby umožňoval rychlou změnu ve výrobě. Výrobní linky mohou být přemístěny, rozšířeny nebo vylepšeny bez většího vlivu na ostatní produkty a výrobní procesy [3].

## **2.4 Kyber - fyzikální systémy (CPS)**

V dnešní době se široce rozšiřuje využití počítačů ve formě vestavěných systémů, které zahrnují hardware i software, a které jsou navrženy v rámci mechanického nebo elektrotechnického systému pro určitý účel. Tento trend se týká různých zařízení od hodinek až po vybavení domácnosti. Koncept kyber-fyzikálních systémů je zevšeobecněním vestavěných systémů. Kyber-fyzikální systém je složený z výpočetních zařízení komunikujících mezi sebou a interagujících s okolím zpětnovazebně pomocí senzorů a pohonů [5].

Kyber-fyzikální systémy začaly být využívány v určité formě již v osmdesátých letech dvacátého století. Dnešní využití je rozsáhlejší díky vyspělejší technologiím procesorů, senzorů a bezdrátové komunikace, které umožňují realizaci kyber-fyzikálních systémů za nižší cenu než v minulosti [5].

Implementaci kyber-fyzikálních systémů je možné popsat pomocí 5C architektury.

### **I. Úroveň připojení**

Prvním krokem pro vývoj kyber-fyzikálního systému je získávání přesných a spolehlivých dat ze strojů a jejich komponent. Data jsou získávána pomocí senzorů nebo přejímána z jiných výrobních systémů jako jsou ERP (Enterprise Resource Planning – Plánování podnikových zdrojů), MES (Manufacturing Execution Systems – Výrobní informační systémy), CMM nebo mohou být získávána z PLC.

### **II. Konverzní úroveň**

Získaná data je nutné zpracovat pomocí algoritmů na informace. V posledních letech se také prosazují algoritmy určené pro monitorování stavu stroje, opotřebení a údržbu.

### **III. Kybernetická úroveň**

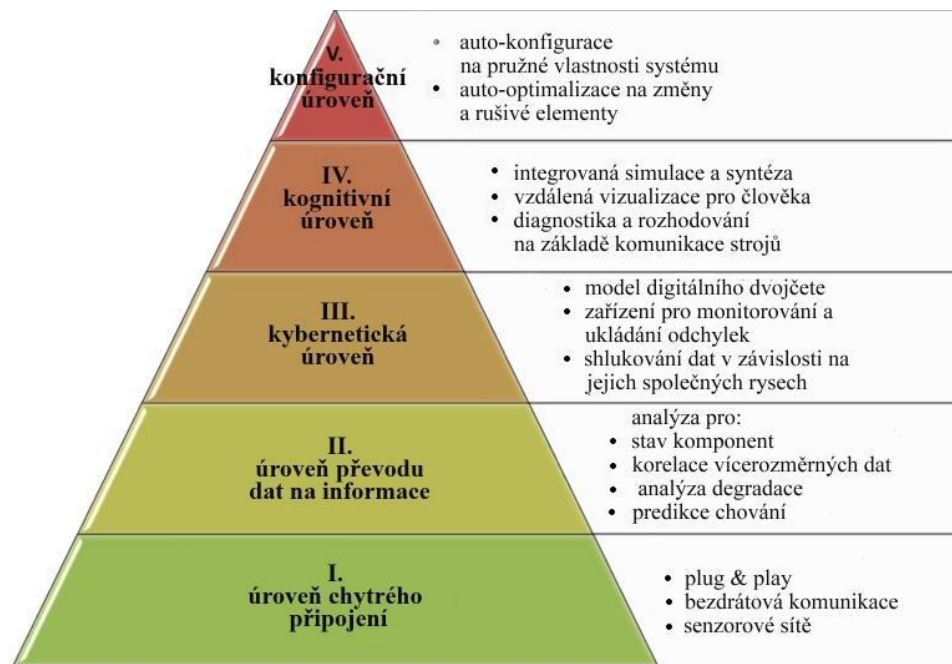
Kybernetická úroveň představuje centrum 5C architektury. Jsou do ní přenášeny informace ze všech připojených strojů, čímž vzniká síť strojů. Shromáždění velkého množství informací ze všech připojených strojů umožňuje lepší analýzu jednotlivých strojů díky porovnání s ostatními.

#### IV. Kognitivní úroveň

Implementace této úrovně kyber-fyzikálního systému umožňuje důkladnou znalost daného systému. Pomocí vhodného zobrazení stavu systému i jednotlivých strojů je možné daný systém řídit a optimalizovat jeho činnost. Důležitá je srozumitelnost a přehlednost informací pro uživatele.

#### V. Konfigurační úroveň

Konfigurační úroveň poskytuje zpětnou vazbu z kybernetické části zpět do fyzikální části. Funguje jako pružný systém řízení, ve kterém jsou odpovídající rozhodnutí učiněná v kognitivní úrovni přenášena k jednotlivým strojům [6] [7].



Obrázek 2 - 5C Architektura pro implementaci kyber-fyzikálních systémů [7]

## 2.5 Internet věcí (IoT)

Definice internetu věcí se podle různých zdrojů liší. Podle výzkumné společnosti Gartner se jedná o síť fyzických objektů, které obsahují vestavěnou technologii umožňující komunikaci, analýzu nebo interakci s vnitřními stavy nebo s okolním prostředím [8]. Oxford dictionary definuje internet věcí jako propojení výpočetních zařízení každodenního užití prostřednictvím internetu, které umožňuje posílat a přijímat data [9].

Vzhledem k neustálené definici pojmů IoT a CPS není jednoznačně vymezený rozdíl mezi těmito dvěma pojmy. IoT lze chápat jako technologii umožňující propojení objektů. Pokud tyto objekty vykonávají určitou činnost koordinovaným způsobem, lze je označit jako CPS. IoT je tedy technologie umožňující vznik CPS [10].

Očekává se, že internet věcí v budoucnu umožní změnit fungování a využití mnoha průmyslových systémů – a to jak výrobních, tak i logistických. V případě aplikací v průmyslu se používá pojem IIoT (Industrial Internet of Things). V následujících podkapitolách je uvedeno možné využití IIoT v praxi.

### **2.5.1 Prediktivní analýza**

Porovnáním dat přicházejících ze snímačů a historii poruch je možné předpovídat poruchové stavy nebo identifikovat změnu vzorce chování, což umožňuje pružně reagovat na nastalou situaci. Díky tomu lze předejít zpomalení či zastavení výrobní linky, nebo případnému poškození zařízení. S vyšším objemem dat je možné systém více optimalizovat. Například je možné automaticky zpomalit chod stroje, dokud nedojde k opravě zařízení, aby bylo minimalizováno poškození stroje. Dále je možné lépe analyzovat a odstranit možné příčiny vzniku problémů [11].

### **2.5.2 Optimalizace údržby stroje**

Díky velkému množství dat historie fungování stroje je možné optimalizovat údržbu stroje podle skutečného používání stroje. Běžné plány údržby jsou stanovené na základě intervalů jako počet vyrobených kusů nebo čas fungování stroje. Tyto intervaly ovšem neodráží skutečné vytížení stroje, což může vést ke zbytečně nákladné nebo naopak nedostatečné údržbě. Analýzou dat a porovnáním s historickými záznamy a dalšími kontextovými informacemi je možné údržbu plánovat efektivně a snížit náklady vzniklé odstavením výrobní linky [11].

### **2.5.3 Optimalizace zařízení v reálném čase**

Pro optimalizaci výkonu zařízení je potřeba využít vhodné analytické nástroje umožňující rychlou a přesnou analýzu dat. Využívá se strojového učení a analýzy dat na digitálním modelu daného zařízení. Základní data se skládají z nastavení zařízení, okolních podmínek, kalibrace, intervalů údržby a dalších parametrů. Porovnáním optimalizovaného profilu s aktuálním chováním stroje mohou operátoři a provozní technici určit vhodné parametry pro chod zařízení. Díky tomu je možné zamezit neefektivitě a dosáhnout optimálního provozního výkonu. Zařízení může být také ovládáno operátory na dálku, nebo mohou být úpravy prováděny automaticky [11].

## **2.6 Big Data**

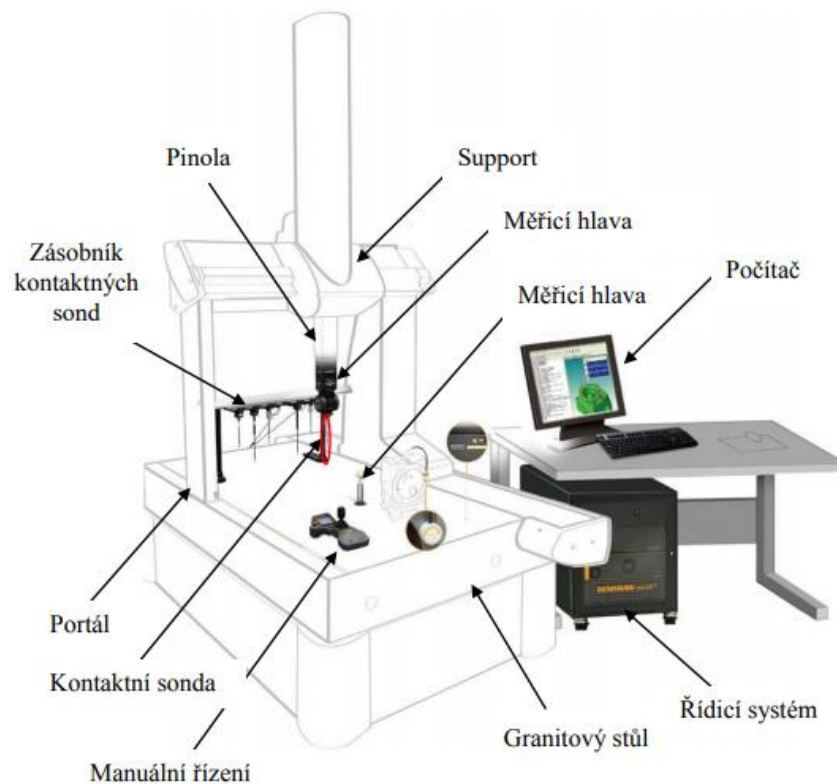
Jako big data jsou označována ta data, jejichž velikost (volume), rychlost nárůstu (velocity) a různorodost (variety) neumožňují zpracování dosud používanými a ověřenými technologiemi v rozumném čase. Tyto podmínky jsou označovány jako 3V, ke kterým jsou postupně přidávána další V jako například věrohodnost (veracity), vysoká hodnota (value), limitovaná doba platnosti (validity) a omezená doba jejich nutného ukládání (volatility) [12].



Big data přímo souvisí s rozvojem technologií jako jsou sensorové sítě, vědecké přístroje, sociální sítě a mobilní technologie. Tyto technologie produkují veliké množství dat, které je nutné uložit a zpracovávat. Firmy mohou tato data využívat například pro lepší přizpůsobení produktu zákazníkovi, optimalizaci výroby a infrastruktury, nebo k objevení nových možností podnikání [12].

### 3 Kontrola kvality s využitím CMM

Z důvodu rostoucí přesnosti CNC obráběcích strojů a vysokých nároků na přesnost výrobku mají ve výrobě nezastupitelnou roli souřadnicové měřicí stroje CMM (Coordinate Measuring Maschine). Jejich výhoda spočívá ve vysoké flexibilitě, univerzálnosti, rychlosti a vysoké přesnosti. Uplatnění CMM zahrnuje široké spektrum oblastí průmyslu včetně automobilového a leteckého průmyslu. Jednotlivé části souřadnicového měřicího stroje popisuje obr. 3.



Obrázek 3 Popis základních částí CMM [13]

### 3.1 Druhy konstrukce kartézských CMM

Druhy konstrukce CMM jsou podle normy ČSN EN ISO 10360 – 1 rozděleny do následujících kategorií.

#### 3.1.1 Stojanový typ

Konstrukce stojanového typu je tvořena nosným sloupem, na kterém se pohybuje horizontální rameno se snímací hlavou. Nevýhodou této konstrukce je nízká dynamická tuhost a nižší přesnost. CMM tohoto typu jsou používány například pro měření konstrukce automobilu. Výhodou je možnost měření rozměrných dílů synchronizovanými stroji z obou stran [14].

#### 3.1.2 Výložníkový typ

Výložníkový typ CMM je tvořen z pojezdu s pinolou, která je umístěna na pohyblivém konzolovém rameni. V ose y se mění vyložení pinoly od vodící plochy, proto je používáno vyvážení pinoly. Výhodou této konstrukce je nízká hmotnost pohyblivých částí, což umožňuje vysokou rychlost měření. Další výhodou je velký měřicí prostor a přístup k měřenému dílu ze tří stran [14].



Obrázek 4 Stojanový typ CMM [15]



Obrázek 5 Výložníkový typ CMM [15]

#### 3.1.3 Portálový typ

Portálový typ CMM je určen pro měření velmi rozměrných dílů. Stroj je tvořen velkou stabilní konstrukcí, která zajišťuje stabilitu a přesnost stroje. Po konstrukci se pohybuje samotný portál. Pro pohon portálu je využíváno dvojitého pohonu (na každé straně portálu), aby se zamezilo vzniku ohybového momentu [14].

#### 3.1.4 Mostový typ

Mostový typ je nejrozšířenějším typem CMM. Pohyb ve směru osy y může být zajištěn buď mostem nebo stolem. Pohyblivý stůl vykazuje vyšší přesnost oproti typu s pohyblivým mostem, jehož přesnost je snížena pohybem mostu po pracovní desce. Nevýhodou tohoto typu je omezený pracovní prostor stroje [14].



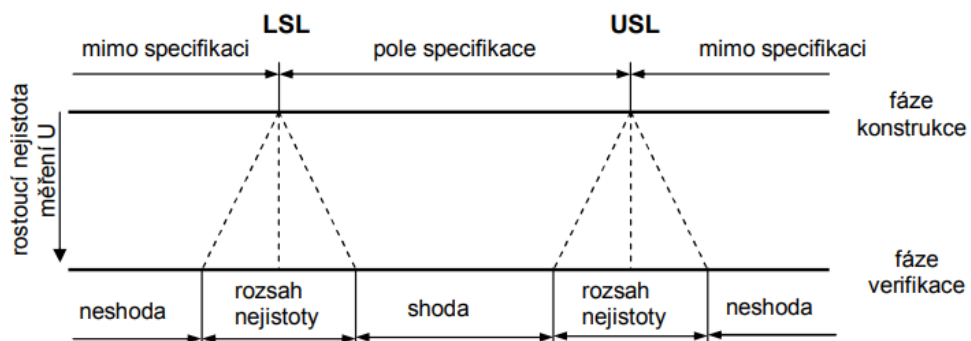
Obrázek 6 Portálový typ CMM [15]



Obrázek 7 Mostový typ CMM [15]

### 3.2 Prokazování shody a neshody se specifikacemi

Vyhodnocování přesnosti dílů probíhá na základě charakteristik stanovených konstruktérem. Rozměr dílu se musí nacházet mezi dolní hranicí tolerance (LSL) a horní hranicí tolerance (USL). Rozdíl těchto hodnot představuje velikost tolerančního pole daného rozměru. Pokud velikost měřeného rozměru spadá do tolerančního pole, je konstruktérem zaručena správná funkčnost výrobku [16].



Obrázek 8 Zmenšení pole shody a neshody palem nejistoty [16]

Měření přesnosti dílu je ovlivněno nejistotou měření vzhledem k omezené přesnosti stroje. Tato nejistota zmenšuje pole shody i neshody. Vzniká zde pole, ve kterém není možné zaručit správnou funkčnost dílu.

V případě, že zjištěná velikost rozměru spadá do pole nejistoty měření, nastává problém s vyhodnocením dílu. Pokud je vyhodnocen jako nevyhovující, rostou náklady na opravu nebo případnou likvidaci dílu, při které musí podnik nést veškeré náklady na dosud vyrobený díl. Přitom tento díl může být ve skutečnosti vyhovující a vhodný pro montáž. Naopak pokud je díl vyhodnocen

jako vyhovující a přitom nesplňuje zadané charakteristiky, způsobuje komplikaci při montáži, zvyšuje riziko dodatečných nákladů na opravy, například v případě poškození okolních dílů. Při dodání takového kusu odběrateli hrozí nejen sankce ze strany odběratele, ale i následná ztráta pověsti a s ní spojený odliv dalších zakázek [16].

## 4 Manipulační technika

V této kapitole jsou uvedeny prvky manipulační techniky od průmyslových robotů, přes dopravníky až po automaticky naváděné vozíky AGV.

### 4.1 Průmyslové roboty

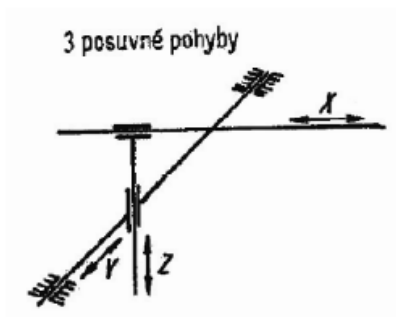
Robot je elektromechanický stroj schopný vykonávat úkony samostatně nebo s vnějším řízením. Podle normy ISO 8373 je průmyslový robot definován jako automaticky řízený, reprogramovatelný víceúčelový manipulátor pohyblivý ve 3 nebo více osách. Nejčastěji používané jsou kloubové roboty, SCARA roboti a karteziánské roboty. O zvoleném typu robota rozhoduje požadovaná rychlost, cena systému a dosažitelnost požadovaných poloh [17].

Roboty lze rozdělit podle oblasti, kam mohou dosáhnout – podle pracovní obálky. Tento způsob klasifikace dává uživateli dobrou představu o tom, jak se robot bude pohybovat a jak může interagovat s okolím. U moderních robotů se vyskytují dva základní typy kinematické struktury: sériová a paralelní (delta). U sériové jsou jednotlivé kinematické dvojce řazeny za sebou sériově (podobně jako je tomu u lidské ruky). Základních pět typů robotů se sériovou kinematickou strukturou jsou kartézský, cylindrický, sférický, kloubový a SCARA. U paralelního struktury jsou jednotlivé členy vedeny paralelně ze společné základny [18].

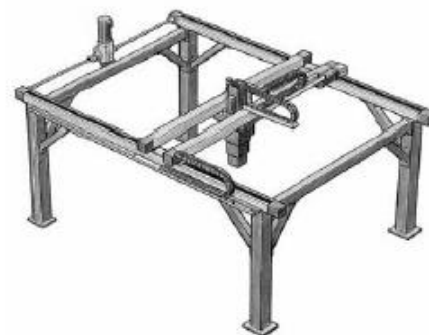
#### 4.1.1 Kartézská geometrie

Kartézský robot se vyznačuje krychlovou nebo hranolovitou pracovní obálkou. Patří sem roboty portálového typu. Mají většinou tři hlavní osy ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), kde osa  $x$  vede ve směru zepředu dozadu, osa  $y$  ze strany na stranu a osa  $z$  směrem nahoru. Kartézské roboty jsou používány pro vykládání a nakládání součástí a přesun součástí na delší vzdálenosti. Jsou vhodné i pro součásti s velkými rozměry. Dále jsou využívány při montáži, obzvláště v automobilovém průmyslu.

Tento robot může být nainstalován nad zařízením, pro které je určený, čímž se snižuje prostorové nároky. Na základnu kartézského robota je možné umístit kloubového robota, aby bylo dosaženo zvětšené pracovní obálky a zvýšené flexibility. Nevýhodou při využití velkorozměrného kartézského robota je horší přístupnost některých míst a obtížnější práce s robotem z důvodu přítomnosti dalších strojů, elektrického vedení, příslušenství a dalších překážek [18].



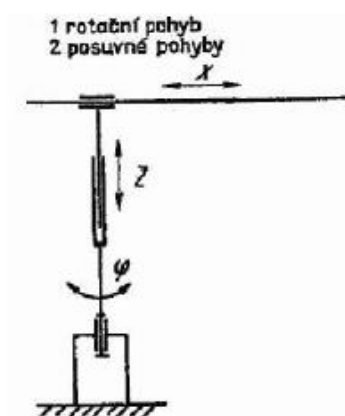
Obrázek 9 Schéma kartézské kinematické struktury [17]



Obrázek 10 Ukázka kartézské kinematické struktury [17]

#### 4.1.2 Cylindrická geometrie

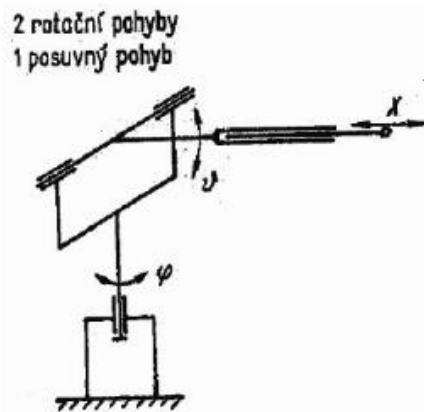
Tyto roboty mají cylindrickou pracovní obálku. Při běžné konfiguraci je osa 1 rotační, osy 2 a 3 jsou lineární. Jsou vhodné i pro vyšší zatížení, umožňují dosažení vzdálenějších míst a jsou poměrně úsporné z hlediska potřebného místa. Jsou využívány pro přesun materiálu, zakládání do palet, balení a montáž [18].



Obrázek 11 Schéma cylindrické kinematické struktury [17]

#### 4.1.3 Sférická geometrie

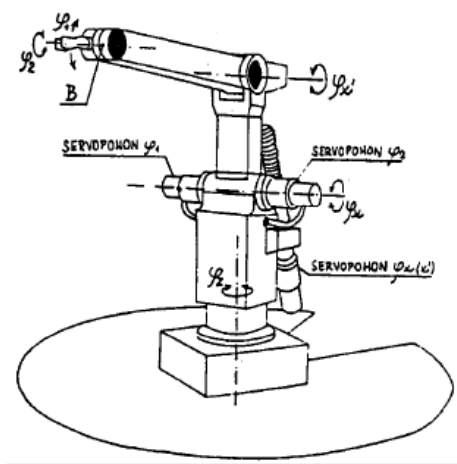
Sférická geometrie vychází z cylindrické geometrie, u které je lineární pohyb ve směru osy z nahrazen rotačním pohybem. Výsledný pracovní prostor je koule – s omezením prostoru potřebného pro umístění robota. Sférická geometrie patří spíše mezi vývojové stupně robota a dnes není příliš používána [18].



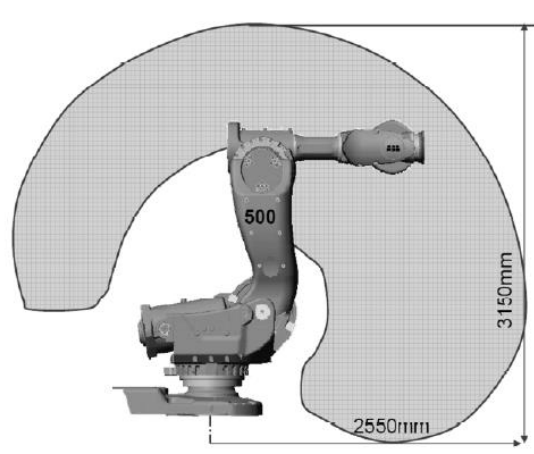
Obrázek 12 Schéma sférické kinematické struktury [17]

#### 4.1.4 Kloubový robot

Kloubový robot má pracovní prostor sférického typu. Nepoužívá lineární pohyb, místo toho je použito několika rotačních pohybů. Kloubový robot je nejčastějším typem dnes používaných robotů. Jeho výhodou je vysoká flexibilita. Tento robot také může nahradit velké množství lidských pohybů. Má sférický pracovní prostor omezený konstrukcí robota, rozvodem elektřiny a hadic. Nosnost těchto robotů se běžně pohybuje od 1 kg do více než 1 tuny. Jsou využívány pro vysokou škálu průmyslových aplikací jako přemísťování součástí, montáž, svařování, povrchové úpravy a další úkony. Novým typem kloubového robota je dvouramenný robot – dvě ramena jsou umístěna na společné základně. Takový robot může vykonávat pohyby podobné lidským s výhodou většího rozsahu rotačního pohybu. Je využíván například pro montážní práce v elektrotechnickém průmyslu [18] [19].



Obrázek 13 Schéma kloubového robota [17]



Obrázek 14 Pracovní prostor robota ABB IRB 7600–500 [17]

#### **4.1.5 SCARA robot**

SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) má válcovitý pracovní prostor, osy 1 a 2 se pohybují rotačním pohybem a osa 3 umožňuje vertikální lineární pohyb. Orientace prvních dvou os může být horizontální, nebo vertikální. Výhodou SCARA robotu je vysoká rychlost. Nosnost je obvykle do 20 kg. Další nevýhodou je poměrně vysoká cena. Tyto roboty jsou využívány při výrobě elektroniky. [18]

#### **4.1.6 Delta geometrie**

Delta robot (nebo také paralelní robot) je robot s několika paralelními rameny. Robot je umístěn nad pracovním prostorem. Vzhledem ke geometrii je pracovní prostor značně omezen. Výhodou je vysoká rychlost. Jsou využívány například pro třídění součástí.

### **4.2 Dopravníky**

Dopravníky jsou mechanická zařízení používána pro transport materiálu z jednoho místa na druhé s minimálním úsilím. Obvykle se skládají z nosného rámu, na kterém je umístěn pás, kolečka nebo válečky. Mohou být používány i pro transport sypkého materiálu jako je štěrk nebo kamenivo. Pohon pásového dopravníku může zajišťovat motor, vzduch, gravitace, nebo může být manuální [20] [17].

#### **4.2.1 Pásový dopravník**

Pásový dopravník je složen dvěma nebo více kladkami, mezi kterými se ve smyčce pohybuje nosný pás. Poháněna může být jedna nebo více kladek. Mezi materiály, které se používají na výrobu pásů je guma, plasty, nebo kovová síť. Mnoho pásů je vyrobeno z kombinace různých materiálů se spodní vrstvou s vysokou pevností a povrchovým materiálem kvůli ochraně produktu. Výběr materiálu záleží na plánovaném zatížení, potřebném tření a prostředí použití. Povrch dopravníku může být opatřen příčkami nebo bočními stěnami. Pásové dopravníky jsou používány tam, kde je potřeba rovné plochy a výrobky nemohou být přenášeny jen pouze pomocí válečků. Pásové dopravníky patří mezi nejméně nákladné dopravníky [17].

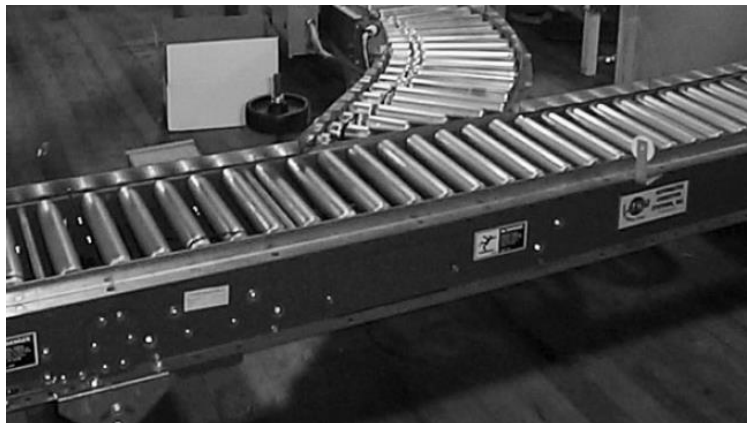




Obrázek 15 Pásový dopravník s příčkami [17]

#### 4.2.2 Válečkový dopravník

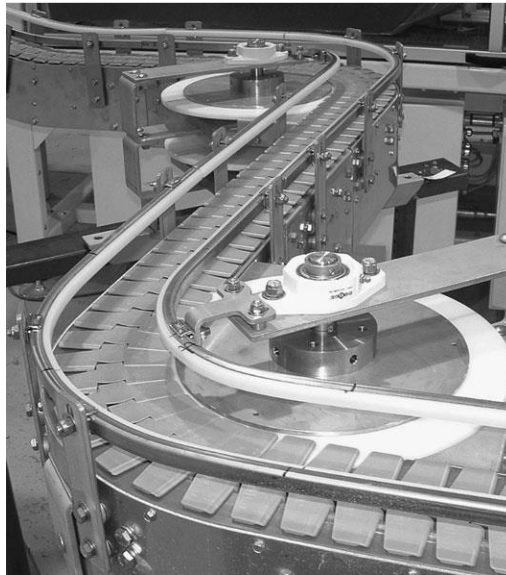
Válečkový dopravník může být nepoháněný nebo s pohonem. U nepoháněného je pohyb materiálu zajišťován gravitací u nakloněného pásu, nebo manuálně u horizontálního pásu. Používané válečky jsou obvykle z kovové skořepiny s osou nebo hřídelí na obou stranách válečku. Jako materiál válečku je používán hliník nebo ocel a může být opatřen gumovou povrchovou úpravou. Válečkové dopravníky jsou používány pro přepravu předmětů s plochým dnem, jako jsou například krabice. Rozteč válečků by měla být taková, aby pod každým předmětem byly alespoň tři válečky. Jednotlivé válečky mohou být poháněny pomocí řemenu, hřídele, řetězu nebo má každý váleček svůj pohon. V případě zahýbajícího pásu jsou vnější strany válečků umístěny dále od sebe. Je možné použít dvě sekce válečků s větším počtem válečků ve vnější sekci. Také mohou být použity válečky s větším průměrem na jedné straně [17].



Obrázek 16 Válečkový dopravník [17]

### 4.2.3 Lamelový a řetězový dopravník

Řetězový dopravník využívá řetězu, který je veden mezi dvěma ozubenými koly na každé straně rámu. V řetězu mohou být uspořádány lamely nebo kontejnery. Na lamelách mohou být umístěny příčky pro oddělení jednotlivých produktů. V případě zatáčejících dopravníků se použité lamely částečně překrývají a mohou se natáčet do strany. Často jsou také používány dva souběžné řetězy, mezi kterými jsou umístěné příčky. Řetězový dopravník je používán i pro zavěšené součásti. Toto uspořádání je využíváno například v pecích nebo lakovnách.



Obrázek 17 Lamelový dopravník [17]

### 4.3 AGV

AGV – automaticky naváděná vozidla (Automated Guided Vehicle) jsou využívána pro převoz materiálu. Jejich první využití sahá do roku 1955 a od té doby se možnosti jejich využití značně rozšířily. Jsou používána jak pro venkovní i vnitřní prostředí, při výrobě, distribuci nebo ve skladech [21].

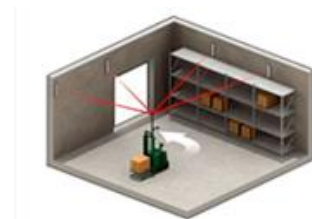
AGV vozidla lze rozdělit podle typu konstrukce do několika základních typů: tahače, nízkozdvíhací/vysokozdvíhací a AGV pro přepravu manipulačních jednotek.

#### 4.3.1 Metody navigace

Existuje mnoho metod navigace a řízení AGV vozíku. Výběr správné technologie může být klíčový pro úspěšnost či neúspěšnost investice. Proto je znalost jednotlivých systémů potřebná před učiněním rozhodnutí o zavedení AGV systému. Při výběru technologie je potřeba uvažovat nejen stávající stav, ale i předpoklad dalšího rozvoje společnosti.

##### ***Navádění laserem***

Prostředí je zmapováno pomocí laseru a uloženo v paměti zařízení. V prostoru jsou umístěny odrazky, detekované laserovým paprskem a snímací hlavou umístěnou na AGV. Jedná se o velmi flexibilní metodu navádění, trasa může být snadno změněna. Zároveň je tento systém přesný, spolehlivý a bezpečný. Další výhodou je snadné zavedení a rozšíření systému [22].



Obrázek 18 Navádění laserem [22]

##### ***Navádění magnetickými body***

Vozík je navigován pomocí magnetických bodů umístěných na podlaze. Trasy vozíků je možné měnit v rámci již instalovaných bodů. Rozmístění magnetických bodů může být komplikováno složitostí rozložení haly. V závislosti na přesnosti magnetických senzorů může být potřeba kalibrace jednotlivých AGV vozíků. Systém může být zaveden bez větších zásahů do výrobní haly [22].



Obrázek 19 Navádění magnetickými body [22]

### **Navádění magnetickou páskou**

Řídící magnetická páska je umístěna na podlahu haly. Tato páska je kontinuální. Jednotlivé trasy jsou pevné, ale je možné je rychle měnit. Páska může být zalitá epoxidovou pryskyřicí pro zvýšení odolnosti a životnosti. Tento systém řízení se využívá pro AGV tahače [22].



Obrázek 20 Navádění magnetickou páskou [22]

### **Indukční navádění**

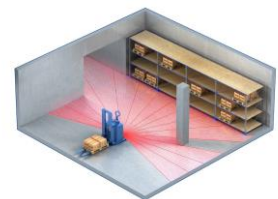
Do podlahy haly je nutné instalovat řídicí drát, jehož přítomnost je detekována senzorem na vozíku. Vyznačení trasy je kontinuální. Instalované trasy jsou pevné, není možné je jednoduše měnit. Tato technologie neumožňuje flexibilní změny systému [22].



Obrázek 21 Indukční navádění [22]

### **Přirozená navigace**

Prostředí je naskenováno pomocí laseru a několika referenčních bodů. Mapa je uložena do paměti zařízení a využívána pro navigaci vozítka v prostoru. Jedná se o nejvíce flexibilní systém, trasy je možné jednoduše a rychle měnit a instalace systému je velmi rychlá. Je vhodné pro prostředí s častými změnami. Umožňuje vyšší úroveň řízení provozu a dynamickou detekci překážek [22].



Obrázek 22 Přirozená navigace [22]

## **4.3.2 Výhody a nevýhody AGV vozíků**

### **Výhody AGV**

- Snížení nákladů na mzdy v důsledku nahrazení lidské práce automatizovanou.
- Zvýšení bezpečnosti práce. Vozíky AGV využívají širokého spektra senzorů, které jim umožňují bezpečný provoz v prostředí s překážkami i lidmi. Vysokozdvížné vozíky řízené lidmi často nedisponují žádnými dalšími bezpečnostními prvky a spoléhají pouze na obsluhu, která ale může z důvodu únavy nebo nepozornosti způsobit nehodu.
- Zvýšení produktivity a přesnosti. Automatizované systémy mohou v případě potřeby operovat 24 denně, 7 dní v týdnu.
- Snadné rozšíření výroby přidáním dalšího AGV vozíku v případě potřeby. Počáteční investici je možné rozložit postupným přidáváním AGV vozíků do systému [23].

## **Nevýhody AGV**

- Výška počáteční investice – Pořízení systému AGV vozíků sice šetří náklady na pracovní síly, ale je svázáno s počáteční investicí. Úspory se tedy projeví až v delším časovém horizontu. Při zavedení AGV vozíku je také potřeba zajistit vyškolení personálu. Další náklady jsou spojeny s údržbou a případnými opravami.
- Nevhodnost pro neopakované úkony – AGV vozíky je vhodné využít v případě vysoce opakovaných úkonů, na které jsou naprogramovány. V případě méně opakovaných úkonů je vhodnější využít např. vysokozdvizného vozíku řízeného člověkem [23].

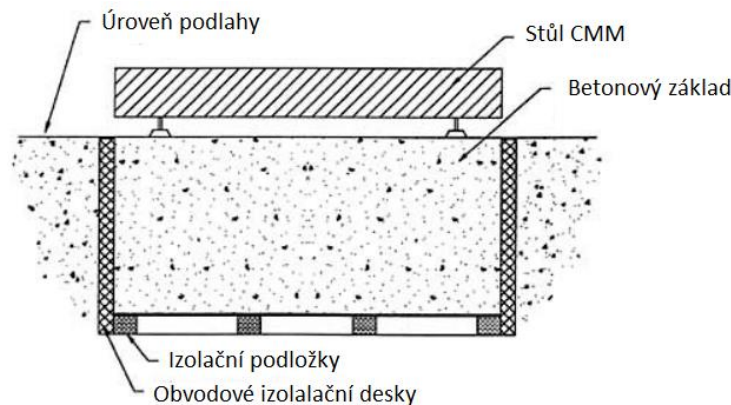
## 5 Systémy řízení environmentu

Vnitřní prostředí laboratoře může značným způsobem ovlivnit přesnost měření. Mezi důležité faktory patří snižování vibrací z okolního prostředí a udržování stabilní teploty a to jak měřených dílů tak i souřadnicových měřicích strojů. Tato problematika řízení environmentu je přibližena v této kapitole.

### 5.1 Tlumení strojů

Pro maximální přesnost souřadnicových měřicích strojů je potřeba zajistit dostatečné tlumení stroje od okolí a to obzvláště, pokud je CMM umístěn v rámci výrobní haly, kde jsou stroje způsobující vibrace podloží. V posledních letech se objevují aktivní systémy tlumení vibrací, které monitorují vibrace a vytváří vibrační sílu o frekvenci a amplitudě vibrací podloží, ale fázově posunutou o 180 stupňů. Díky interferenci dochází k úplné eliminaci vibrací. Nicméně tato metoda je zatím spíše experimentální, obzvláště kvůli vysoké počáteční ceně systému [24].

Běžně používané systémy vibrační izolace jsou pasivní. CMM je na bloku litého betonu, který je uložen na izolační podložce (viz. Obrázek 23). Jako izolační podložku je možné použít celou řadu materiálů jako například neoprén, skelné vlákno, plst (textilie ze vzájemně zaklesnutých vláken), korek nebo další stlačitelné materiály. Tento způsob uložení stroje je nejlevnější, ale nevýhodou může být postupné opotřebení a stlačení tlumícího materiálu. Mezi další možnosti oddělení betonového základu stroje od okolí patří například pružiny, případně vzduchové pružiny [24].



Obrázek 23 Schéma základu stroje [24]

### 5.2 Řízení teploty laboratoře

Jedním ze základních požadavků pro přesné měření je stabilní teplota vzduchu. Běžná teplota, při které jsou díly měřeny je 20°C. V případě měření prováděných za různých teplot dochází ke zvýšení nejistoty měření. Z těchto důvodů jsou souřadnicové měřicí stroje umísťovány do klimatizovaných místností se systémy měřícími teplotu v místnosti. V měrové laboratoři jsou rozmístěny senzory teploty sledující

teploty v pracovním prostoru každého stroje. Data jsou odesílána do centrálního počítače, který naměřené hodnoty vyhodnocuje a upravuje teplotu v místnosti.

Pro udržení stabilního prostředí v laboratoři je dále využíváno přechodových místností při vstupu do laboratoře, aby se snížila velikost teplotního gradientu. Nicméně v případě příliš častého průchodu osob mezi laboratoří a okolním prostorem může být obtížné vhodnou teplotu udržet.

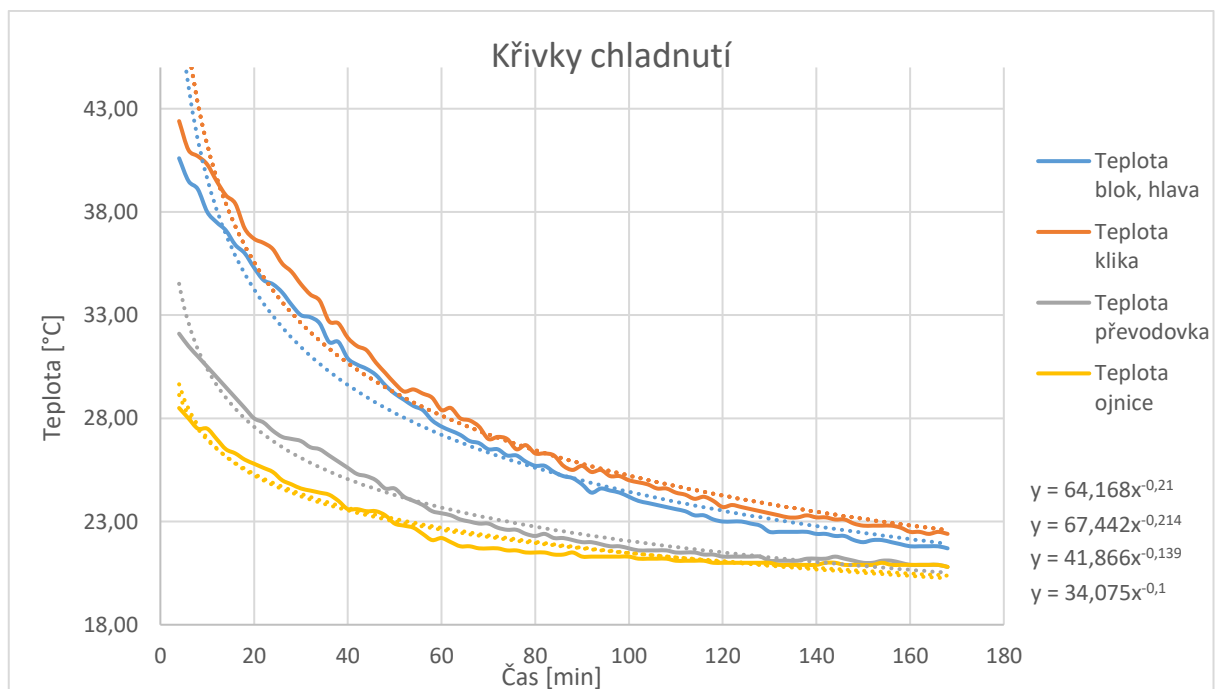
### 5.3 Sledování teploty dílu

Přesné monitorování teploty výrobku je při rozměrové kontrole výrobků důležité vzhledem k tepelné roztažnosti materiálů. Pro představu o tepelném ovlivnění rozměrů dílů je uveden v tabulce 1 přehled součinitele lineární teplotní roztažnosti pro některé materiály. Pro měření teploty výrobků je používáno velké množství metod. Systémy měření teploty lze obecně rozdělit na dotykové a bezdotykové.

Tabulka 1 Součinitel lineární teplotní roztažnosti některých materiálů [25]

Materiál	Ocel	Šedá litina	Hliník
Součinitel lineární teplotní roztažnosti ( $10^{-6} K^{-1}$ )	13	10,8	22,2

Pro jednotlivé díly měřené v měrovém středisku (blok motoru, skříň převodovky, kliková hřídel, ojnice) byly stanoveny následující křivky chladnutí. Použité údaje jsou z interního dokumentu společnosti Škoda Auto a.s. Měření bylo provedeno dotykovým teploměrem bez použití chlazení.



Obrázek 24 Křivky chladnutí jednotlivých dílů

Doba potřebná pro ochlazení dílu bez chlazení na požadovanou teplotu (21°C) je poměrně dlouhá, proto jsou přijaté díly v měřicím středisku chlazeny pod dvojicí pokojových ventilátorů. V případě automatizace měrového střediska je potřeba zajistit měření teploty, aby byla zaručena potřebná teplota dílu. K tomuto účelu je možné využít bezdotykové snímače měření. Dotykové snímače nejsou pro automatizaci příliš vhodné, ale vzhledem k jejich přesnosti se hodí pro kalibraci bezdotykových snímačů.

### **5.3.1 Dotykové senzory**

Měření teploty probíhá přiložením senzoru přímo k měřenému objektu. Dochází k přenosu tepla z objektu přes kryt senzoru na samotný senzor. Výhodou je vysoká přesnost měření a nízké rušení okolním prostředím. Nevýhodou je ovlivnění rychlosti měření tepelnou vodivostí krytu senzoru [26].

#### ***Termočláanky***

Termočláanky fungují na principu tzv. Seebeckova jevu, který spočívá v přeměně tepelné energie na elektrickou spojením dvou vodičů stejného kovu v jednom místě. Na koncích vodičů vzniká napětí (řádově  $\mu\text{V}$  na  $^{\circ}\text{C}$ ). Napětí mezi vodiči závisí na termoelektrickém koeficientu obou kovů. Rozsah teplot měřitelných termočláanky se pohybuje v rozmezí  $-200^{\circ}\text{C}$  až  $3500^{\circ}\text{C}$  podle použité kombinace vodičů. Při volbě vodičů je snahou dosáhnout vysoké linearity v měřeném rozsahu [26] [27].

#### ***Odporové snímače***

Odporové snímače využívají závislost elektrického odporu na teplotě. Odpor kovu roste s rostoucí teplotou z důvodu srážek elektronů s kladnými ionty v krystalové mřížce. Výhodou těchto senzorů je vysoká přesnost, vysoký rozsah měřitelných teplot, dobrá linearita. Jako materiál snímače je používána nejčastěji platina, případně měď či nikl. Platina je dlouhodobě stabilní a málo náchylná na vlivy okolního prostředí. Vlastnosti závisí na čistotě použité platiny. Běžně jsou používány odporové snímače s odporem  $100\ \Omega$  při  $0^{\circ}\text{C}$ . Takový snímač je označován jako PT100. Platinové snímače jsou využívány pro měření teploty vody, páry, nebo při měření vysokých teplot např. při tavně hliníku [26] [27].

#### ***Termistory***

Termistory využívají závislosti elektrického odporu materiálu na teplotě způsobené změnou koncentrace nosičů volného náboje. Změna odporu může být kladná (pak se jedná o pozistor) nebo záporná (negastor). Závislost odporu na teplotě je nelineární. Rozsah použitelných teplot je  $-50^{\circ}\text{C}$  až  $150^{\circ}\text{C}$ . Jsou využívány pro měření teploty v klimatizačních zařízeních, venkovních čidlech, nebo při měření chladicí kapaliny v automobilu. Jejich výhodou je nízká cena [26] [27].



### 5.3.2 Bezdotykové senzory

Bezdotykové senzory měření využívají infračerveného záření, které je vyzařováno měřeným objektem. Záření je zaznamenáváno pomocí senzoru, který ho převede na elektricky měřitelnou veličinu, která je zpracována dalšími elektrickými obvody. Bezdotykové měření umožňuje velmi rychlé měření a může být použito i za vysokých teplot (až 3000 °C). Umožňuje měřit pouze povrchovou teplotu. Měření je ovlivněno nejistotou emisivity povrchu měřeného objektu, prostupností prostředí a odrazem záření od okolního prostředí [28]. Výhoda bezdotykového měření je rychlé zaznamenání změny teploty a možnost měření pohybujících se objektů.

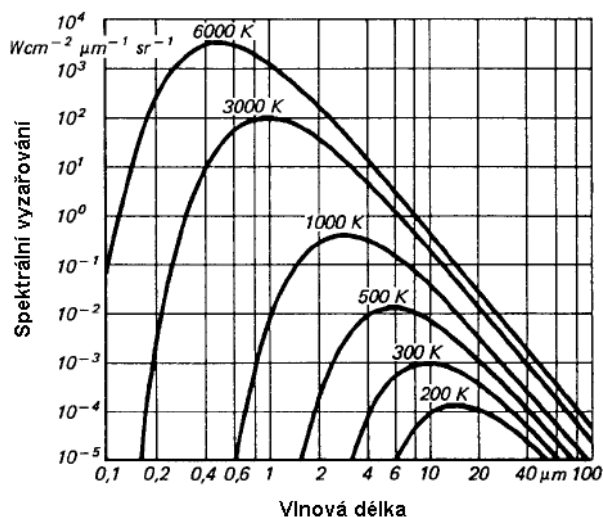
#### *Tepelné senzory IR záření*

Infračervené záření emitované objektem je pomocí optiky zaměřeno a dopadá na snímač, kde je záření vyhodnoceno pomocí dotykových senzorů. Optika zároveň plní funkci filtru a umožňuje přenos záření o potřebné vlnové délce. Zařízení může být bodové (IR teploměr) nebo může plošně snímat teplotní pole na povrchu objektu (termokamera). V případě termokamery je využit síťový detektor, sestávající z větší počtu jednotlivých bodů [28].

#### *Princip měření*

Všechny předměty, které mají teplotu vyšší než je absolutní nula (-273,15 °C) vyzařují do svého okolí elektromagnetické záření o určité vlnové délce. Tento jev je způsoben pohybem atomárních a subatomárních částic. Záření, které je způsobeno tepelným pohybem částic je označováno jako sálání a jeho vlnová délka se pohybuje od 0,4 μm do 15 μm. Sálání se patří do oblasti infračerveného záření a částečně zasahuje i do viditelného spektra (390 – 760 nm). Záření o vlnové délce větší než 15 μm dnešními IR teploměry není možné zaznamenat [29].

Pro popis záření tělesa se zavádí pojem absolutně černé těleso. Jedná se o teoretické těleso, které pohlcuje záření všech vlnových délek a zároveň vyzařuje při dané teplotě maximální možné množství energie. Vlnová délka maximální intenzity vyzařování  $\lambda_{\max}$  se mění podle teploty tělesa [29].



Obrázek 25 Vyzařovací charakteristika absolutně černého tělesa v závislosti na teplotě [30]

Intenzita záření  $I$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) vyjadřuje velikost zářivého toku  $\Phi$  (W) na jednotku plochy  $A$  ( $\text{m}^2$ ) [29].

$$I = \frac{d\Phi}{dA}$$

Závislost intenzity záření emitované povrchem absolutně černého tělesa  $I_0$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) popisuje Stefan-Boltzmannův zákon [29]:

$$I_0 = \sigma T^4$$

Kde  $\sigma = 5,68 \times 10^{-8}$  ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ ) je Stefan-Boltzmannova konstanta a  $T$  (K) je teplota

Pro popis záření reálného (tzv. šedého) tělesa se stanovuje emisivita  $\varepsilon$  (-), která vyjadřuje poměr intenzity záření šedého tělesa ku intenzitě záření absolutně černého tělesa. Pro záření šedého tělesa platí Stefan-Boltzmannův zákon ve tvaru [29]:

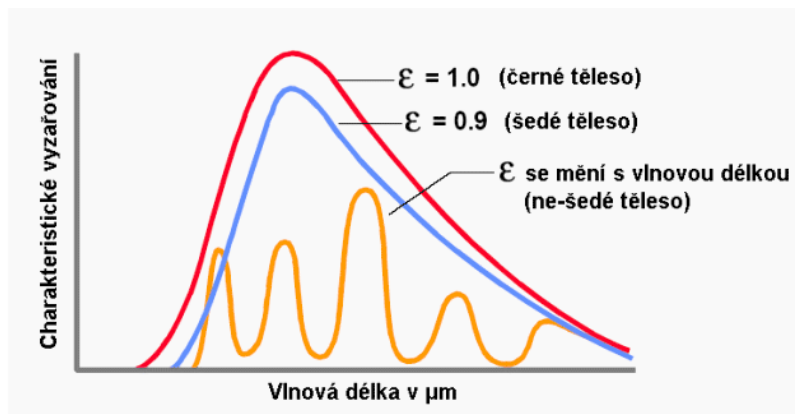
$$I = \varepsilon \sigma T^4$$

Kde  $\varepsilon$  (-) je emisivita šedého tělesa.

Pro přesné měření teploty je důležité správné stanovení emisivity, která je závislá nejen na materiálu, ale i na struktuře povrchu. Mnoho materiálů jako je dřevo, plast, guma, organické materiály, horniny a beton má emisivitu v rozmezí 0,8 až 0,95 [30].

Emisivita některých materiálů je zároveň proměnlivá v závislosti na vlnové délce. Tyto materiály lze označit jako nešedá tělesa a patří mezi ně kovy (obzvláště s leštěným povrchem), sklo a plastové folie.

Emisivita nešedých těles může být velmi nízká, například u leštěných kovů se pohybuje kolem 0,1. Pro měření teploty těchto materiálů používají přístroje s nastavitelným rozsahem vlnové délky [30].



Obrázek 26 Vyzářovací charakteristika podle typu tělesa [30]

Emisivita kovů závisí na vlnové délce a na teplotě. Při určení měřené vlnové délky se volí rozsah s nejvyšší možnou emisivitou. U mnoha kovů se přesnost měření snižuje v závislosti na rostoucí vlnové délce, proto je snahou nastavit nejnižší možnou vlnovou délku [30].

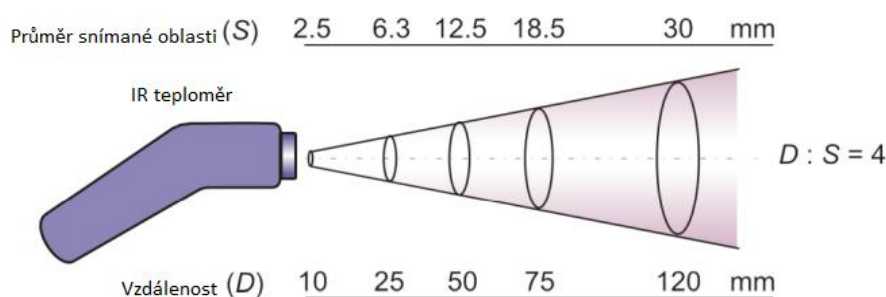
### **Stanovení emisivity**

Pro stanovení emisivity existuje několik postupů. Jako orientační lze použít tabulkovou hodnotu. Tato hodnota se ale může poměrně lišit od skutečné, obzvláště v případě kovů s leštěným povrchem. Pro určení emisivity je možné použít některou z následujících metod [30].

1. Vzorek je ohřát na známou teplotu určenou pomocí dotykového senzoru. Na IR teploměru je nastavena emisivita tak, aby naměřená teplota odpovídala hodnotě určené dotykovým senzorem.
2. Na měřený objekt je nalepena samolepka se známou emisivitou. Pomocí IR teploměru je teplota samolepky. Poté je měřena teplota objektu bez samolepky a emisivita upravena tak, aby hodnoty teploty odpovídaly. Místo nálepky je také možné použít černou barvu.
3. Do vzorku je vyvrtán otvor, jehož hloubka je minimálně pětinasobek průměru otvoru. Při měření teploty v otvoru se tento otvor jeví jako černé těleso a emisivita je přibližně rovna 1. Pomocí stanovené teploty je určena emisivita na povrchu podobně jako u předchozích metod [30].

## IR teploměry

Optický systém IR teploměru má obvykle pevnou ohniskovou vzdálenost. Daná ohnisková vzdálenost určuje i velikost optického rozlišení. Obvykle se velikost optického rozlišení vyjadřuje poměrem mezi vzdáleností objektu a průměrem snímané oblasti. Měřený objekt by při správném měření měl zcela vyplnit snímanou oblast. V případě, že objekt nevyplní snímanou oblast úplně, bude naměřená teplota průměrem teploty objektu a okolí. Pro určení místa měření jsou využívány laserové zaměřovače. Laserový paprsek označuje střed měřené oblasti. Pro přesnější určení velikosti měřené oblasti jsou využívány laserové zaměřovače se dvěma a více paprsky, které vyznačují průměr snímané oblasti [29].



Obrázek 27 Znárodnění optického rozlišení [29]

Měření IR teploměrem je zatíženo několika zdroji chyb. Mezi hlavní zdroje chyb jsou:

- Různorodý charakter měřeného povrchu. Povrch objektu neodpovídá zcela povrchu absolutně černého tělesa. Z tohoto důvodu se používá korekční poměr – emisivita. Emisivita vyjadřuje poměr mezi intenzitou vyzařování reálného tělesa ku intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa. Její správné určení je nutné pro přesný výpočet teploty.
- Odraz IR záření z jiného zdroje od snímaného tělesa. Zdroji rušícího záření mohou být horké předměty nebo sluneční paprsky.
- IR záření procházející předmětem ze zdroje umístěného za měřeným objektem.
- Prostředí mezi měřeným objektem a IR teploměrem může mít různou transmisivitu (prostupnost) pro IR záření. Může obsahovat plyny absorbující IR (např.  $\text{CO}_2$ , vodní pára) nebo kouř či prachové částice [29].

## 6 Podnik Škoda Auto a.s.

Praktická část této diplomové práce byla realizována v podniku Škoda Auto. Stručné představení tohoto podniku je v této kapitole.

Škoda Auto a.s. je český výrobce automobilů sídlící v Mladé Boleslavi. Je největší českou firmou z hlediska tržeb, počtu zaměstnanců i objemu exportu. Firma vznikla v roce 1895 jako Laurin&Klement a původně se zabývala výrobou motocyklů. V současnosti je zcela vlastněna společností Volkswagen Group [31].



**ŠKODA**

Obrázek 28 Logo ŠKODA AUTO a.s.

Počátky společnosti sahají do roku 1895 kdy mechanik Václav Laurin a knihkupec Václav Klement založili podnik na výrobu jízdních kol v Mladé Boleslavi. Firma brzy přešla i ke stavbě motocyklů, v této oblasti patřila mezi první na světě. V roce 1905 přichází první model automobilu *Voiturette A*. Díky úspěchu se firma v roce 1907 stává akciovou společností a v roce 1925 se spojuje s koncernem ŠKODA Plzeň a nový model *Škoda Popular* se stává velmi úspěšným. V roce 1991 získal koncern Volkswagen 30% podíl ve společnosti. Tento podíl byl postupně navyšován a 30. května 2000 už koncern Volkswagen vlastnil 100 % společnosti [32] [31].

V současnosti Škoda auto vyrábí 7 modelů automobilů. Patří mezi ně *Citigo* (miniautomobil), *Fabia* (malý automobil, III. generace), *Rapid* (vůz nižší střední třídy), *Octavia* (vůz střední třídy, III. generace), *Karoq* (malé SUV), *Kodiaq* (SUV) a *Kamiq* (městské SUV). Nejvýznamnějšími trhy jsou Čína, Německo, Česká republika, Rusko, Velká Británie a Polsko.

Škoda Auto a.s. má tři výrobní závody v České republice. Kromě závodu v Mladé Boleslavi je výroba v Kvasinách a také ve Vrchlabí, kde se vyrábí automatické převodovky. Závod v Mladé Boleslavi se soustředí na nejprodávanější modely (*Octavia*, *Rapid*, *Fabia*), výrobu motorů a manuálních převodovek. V Kvasinách probíhá výroba *Superbu* a SUV *Kodiaq* a *Karoq*. Vozy Škoda jsou vyráběny i na Slovensku, v Indii, Rusku a Číně. Montážní linky jsou také v Kazachstánu, na Ukrajině a v Alžírsku [33].

Společnost Škoda Auto a.s. v roce 2018 vyrobila celosvětově 1,3 milionu aut, z toho 886 100 v České Republice. Na českém HDP se podílí přibližně 5 % a tvoří 9 % českého exportu. V dlouhodobém časovém horizontu plánuje firma investovat do rozvoje elektromobility a nových služeb mobility, do roku 2025 se má jednat o přibližně 2 miliardy eur [33].

## 7 Středisko kontroly kvality

Praktická část této diplomové práce se zabývá možnostmi využití prvků konceptu Průmyslu 4.0 v rámci měrového střediska ve společnosti Škoda Auto v Mladé Boleslavi. V této kapitole je uveden popis současného stavu, předpoklady pro automatizaci střediska a analýza časové náročnosti úkonů měření.

7.1 Analýza současného stavu oddělení kontroly kvality ve společnosti Škoda Auto a.s. Průběh měření jednotlivých dílů v měřicím středisku je popsán v této podkapitole.

Doprava dílů na měrové středisko probíhá manuálně. Díly jsou umístěny na vozík, který je dopraven do měrového střediska. Počet měřených dílů závisí na potřebách výroby a vzhledem k tomu dochází k výkyvům množství dodaných dílů. Převážná kapacita jednoho vozíku se pohybuje od 12 do 24 kusů v případě skříní převodovek. Vozík pro přepravu klikových hřídelí je vybaven držáky ve tvaru V a jsou na něm běžně převáženy 3 hřídele. Některé díly jsou také dopravovány jako jednotlivé kusy. Vozíky jsou dopravovány do místnosti skrz dvě přechodové místnosti. Vozík s díly je umístěn do prostoru měrového střediska a z něj jsou díly distribuovány na jeden nebo více strojů CMM. Přepravu vozíků do střediska a zpět zajišťuje personál z výroby, který se při přepravě nemůže věnovat vlastní výrobě. Automatizací přepravy dílů by bylo možné náklady na přepravu snížit.



Obrázek 29 Vozík s díly skříně převodovky



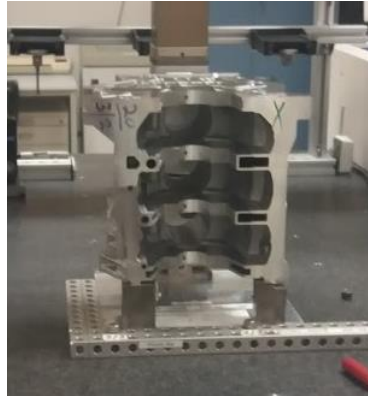
Obrázek 30 Vozík s díly skříně převodovky

Před měření se díly dopravené na měrové středisko se nechávají vychladnout. Tento proces nyní není nijak monitorován. Teplota dílů je ověřována operátorem pouze dotykem. V případě zvýšené teploty je díl umístěn pod větrák, kde je chlazen. Díl je také očištěn od prachu a třísek. Měřené díly by měly být dodávány čisté, ale ne vždy skutečnost odpovídá tomuto požadavku. Nečistoty dílů zkreslují měření, které je po následném odstranění nečistot nutné opakovat, čímž se zvyšují náklady na měření.

Díl je upnut do přípravku. Přípravky jsou speciální pro každý měřený díl skříně převodovky. Bloky motoru jsou upínány do upínací stavebnice pro CMM. Klikové hřídele jsou upínány do sklíčidla otočného stolu. Po upnutí je operátorem spuštěn příslušný program měření. Program se spouští na počítači umístěném u daného stroje.



*Obrázek 31 Přípravky pro upnutí skříně převodovky*



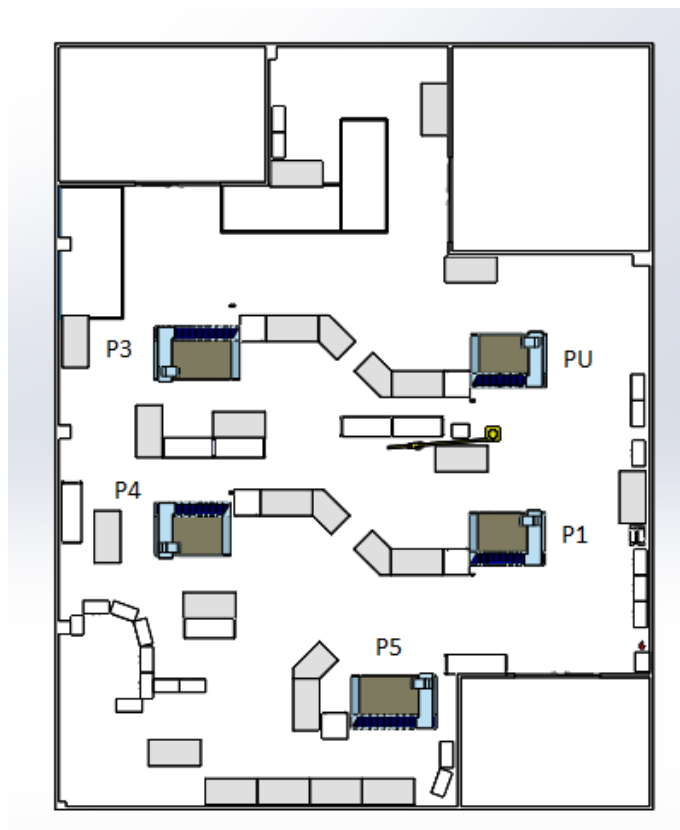
*Obrázek 32 Blok motoru upnutý ve stavebnici pro CMM*



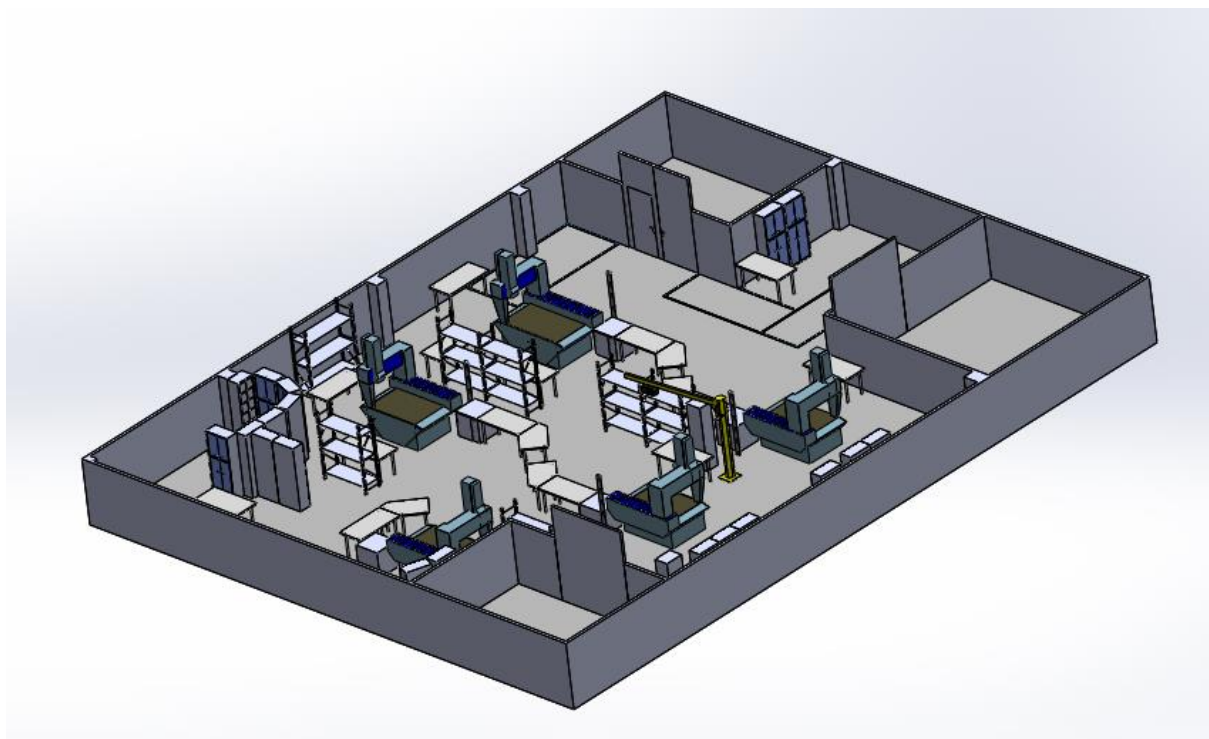
*Obrázek 33 Sklíčidlo pro upnutí klikového hřídele*

Po změření dílu vzniká po dokončení měření prodleva, při které stroj čeká na příchod operátora, který obsluhuje více strojů. Operátor zkontroluje protokol měření. V případě nevyhovující charakteristiky je měření opakováno. Po změření je díl označen velkým X aby nedošlo k záměně s nezměřenými díly. Dále jsou díly jsou umístěny na vozík a následně vyzvednuty pracovníkem z výroby a přepraveny do další fáze výroby.

Pro analýzu stávajícího stavu střediska a rozmístění strojů byl zpracován layout měrového střediska (viz obrázky 33 a 34). V měřicí laboratoři je pět měřicích strojů CMM. Jedná se o Zeiss Prismo Y1800 (stroje P3 a P5), Zeiss Prismo Y1500 (stroje P1 a P3) a jeden stroj Zeiss Prismo Ultra (PU), který slouží převážně pro měření klikových hřídelí. U stroje P1 je instalován jeřáb, který slouží pro zdvihání bloků motorů.



Obrázek 34 Stávající schéma laboratoře



Obrázek 35 Model stávajícího stavu laboratoře



Stávající rozmístění strojů je přizpůsobeno pro manuální obsluhu, mezi stroji je dostatek místa pro pohyb obsluhy a zároveň dostatek odkladových ploch pro díly a přípravky. Toto rozmístění je ale nevhodné pro automatizaci, neboť stroje jsou daleko od sebe a každý stroj by vyžadoval vlastní robotickou obsluhu (nebo případné propojení strojů válečkovým dopravníkem by bylo příliš prostorově náročné). Další nevýhodou stávajícího uspořádání je volný přístup do laboratoře a to ze dvou stran. Volným přístupem do laboratoře může docházet k ovlivňování vnitřních environmentálních podmínek.

## 7.2 Předpoklady pro automatizaci střediska

Pro automatizaci střediska bude nutné zajistit splnění několika následujících podmínek.

- Díly přijímané do měřícího střediska musí být očištěné, bez prachu a zbytku třísek.
- Označení dílů pro identifikaci. Například může být použito značení pomocí QR kódů.
- Stanovení emisivity výrobků pro měření teploty. Může být problematické v případě výrobku s různými strukturami povrchu (neobrobené, leštěné, ...)
- Použití automaticky přenastavitelných přípravků nebo automatická výměna přípravků.
- Automatická výměna snímací sensoriky.

### 7.3 Analýza časové náročnosti jednotlivých úkonů

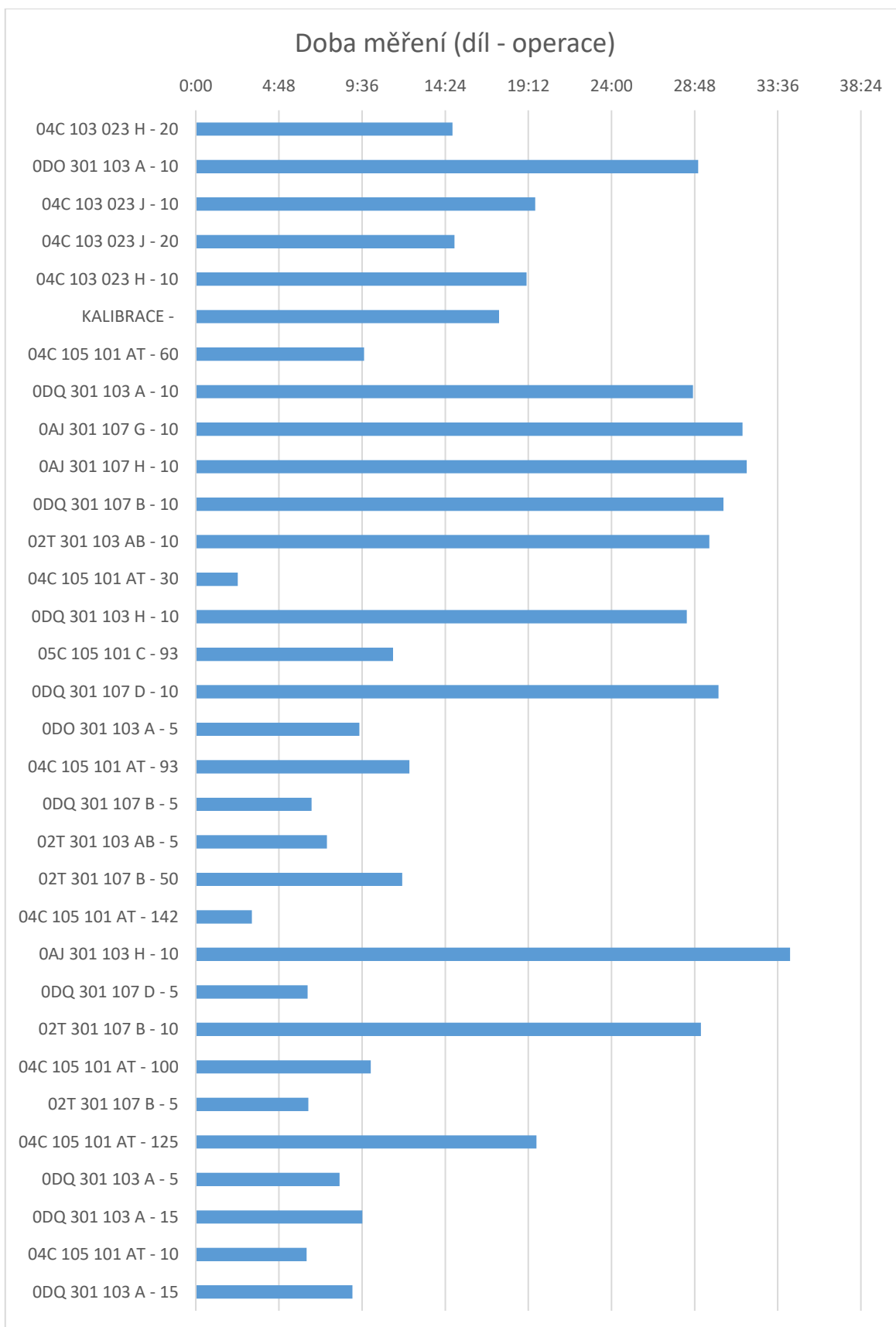
Analýza pracovních časů byla provedena, aby bylo možné zhodnotit efektivitu současného stavu. Na pracovišti je zaveden dvousměnný provoz. Z operátorů, kteří na místě pracují jsou dva zaměstnanci společnosti Škoda Auto a čtyři operátoři jsou externí zaměstnanci od firmy Zeiss. Na pracovišti jsou v průběhu denní směny dva operátoři a v průběhu noční směny pouze jeden operátor. Cílem analýzy časů bylo stanovit hodnoty časů potřebné pro jednotlivé úkony operátora a dále stanovit časy měření. Díky těmto hodnotám bude možné určit, které časy je možné eliminovat a zároveň jsou podkladem pro optimalizaci automatizovaného řešení.

Měření časů bylo provedeno během celkem devět pozorování, každé v průběhu 7 až 8 hodin. Při měření bylo pro každý díl zaznamenáno označení, čas přijetí, doba temperace (pokud bylo nutné díl chladit pod větráky), čas manipulace na CMM (čas přenesení na CMM a upnutí), čištění dílu (pokud bylo provedeno), doba přípravy měření (doba potřebná pro spuštění programu), samotná doba měření (odečteno ze systému CMM), doba vyhodnocení (kontrola protokolu a odeslání protokolu), manipulace z CMM (vyjmutí dílu a položení na vozík) a čas odeslání dílů zpět do výroby.

Tabulka 2 ukazuje přehled měřených dílů a operací. Díly jsou seřazeny podle výskytu měřených operací v průběhu pozorování. Pro lepší přehled o době měření jednotlivých operací je na straně 43 uveden Obrázek 36 se sloupcovým grafem. Tabulka 3 zobrazuje vedlejší časy měření pro jednotlivé díly.

Tabulka 2 Přehled měřených dílů a operací, doba měření. Díly jsou seřazeny dle počtu výskytů

Označení dílu - operace	Počet výskytů	Doba měření	Typ dílu
04C 103 023 H - 20	28	14:49	Blok motoru
0DO 301 103 A - 10	24	29:00	Skříň převodovky
04C 103 023 J - 10	23	19:36	Blok motoru
04C 103 023 J - 20	17	14:56	Blok motoru
04C 103 023 H - 10	15	19:06	Blok motoru
KALIBRACE -	15	17:31	Kalibrace
04C 105 101 AT - 60	12	9:43	Kliková hřídel
0DQ 301 103 A - 10	12	28:42	Skříň převodovky
0AJ 301 107 G - 10	12	31:34	Skříň spojky
0AJ 301 107 H - 10	11	31:49	Skříň spojky
0DQ 301 107 B - 10	11	30:28	Skříň spojky
02T 301 103 AB - 10	10	29:39	Skříň převodovky
04C 105 101 AT - 30	10	2:25	Kliková hřídel
0DQ 301 103 H - 10	10	28:21	Skříň převodovky
05C 105 101 C - 93	10	11:23	Kliková hřídel
0DQ 301 107 D - 10	9	30:11	Skříň spojky
0DO 301 103 A - 5	9	9:27	Skříň převodovky
04C 105 101 AT - 93	8	12:20	Kliková hřídel
0DQ 301 107 B - 5	8	6:41	Skříň spojky
02T 301 103 AB - 5	8	7:34	Skříň převodovky
02T 301 107 B - 50	6	11:55	Skříň spojky
04C 105 101 AT - 142	6	3:14	Kliková hřídel
0AJ 301 103 H - 10	6	34:19	Skříň převodovky
0DQ 301 107 D - 5	5	6:27	Skříň spojky
02T 301 107 B - 10	5	29:10	Skříň spojky
04C 105 101 AT - 100	4	10:06	Kliková hřídel
02T 301 107 B - 5	4	6:30	Skříň spojky
04C 105 101 AT - 125	3	19:40	Kliková hřídel
0DQ 301 103 A - 5	3	8:18	Skříň převodovky
0DQ 301 103 A - 15	3	9:37	Skříň převodovky
04C 105 101 AT - 10	3	6:24	Kliková hřídel
0DQ 301 103 A - 15	3	9:03	Skříň převodovky



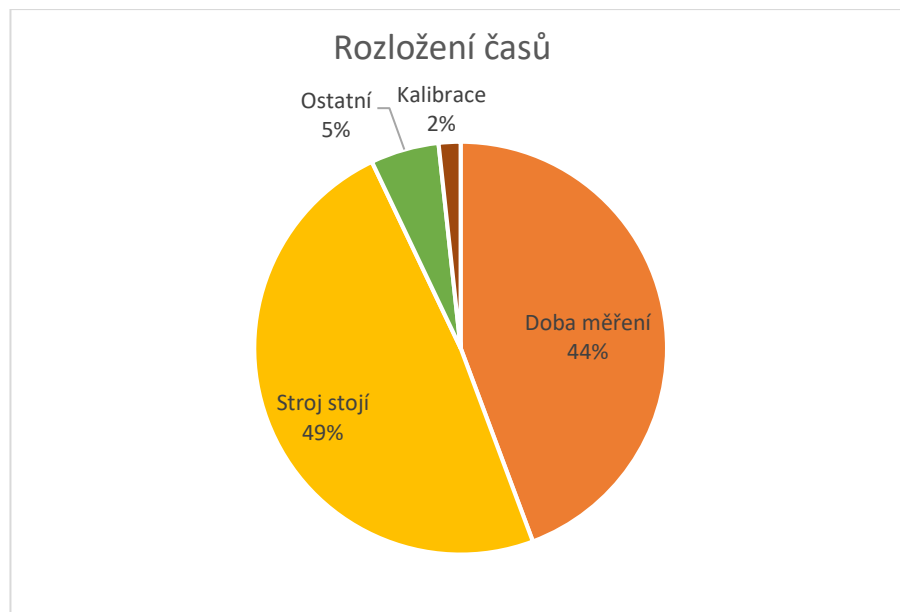
Obrázek 36 Doba měření jednotlivých operací

Tabulka 3 Vedlejší časy měření jednotlivých dílů

Označení dílu	Počet výskytů	Doba temperace	Manipulace na CMM	Doba čištění	Příprava měření	Doba vyhodnocení	Manipulace z CMM	Přeměření
04C 105 101 AT	54	0:00	0:11	0:01	0:28	0:09	0:10	0:05
0DO 301 103 A	43	0:00	0:09	0:01	0:18	0:29	0:09	0:00
04C 103 023 H	38	0:00	0:29	0:00	0:21	0:17	0:15	0:04
04C 103 023 J	32	0:00	0:16	0:00	0:18	0:09	0:13	0:00
0DQ 301 107 B	25	0:00	0:11	0:08	0:32	0:17	0:08	0:00
02T 301 107 B	20	0:00	0:09	0:04	0:29	0:13	1:20	0:00
02T 301 103 AB	20	0:00	0:13	0:17	0:28	0:21	0:14	0:05
0DQ 301 107 D	19	0:00	0:14	0:00	0:34	0:09	0:08	0:00
0AJ 301 107 H	17	0:00	0:16	0:04	0:22	0:11	0:28	1:17
05C 105 101 C	17	0:00	0:12	0:00	0:21	0:11	0:08	0:00
KALIBRACE	15	0:00	0:11	0:00	0:11	0:05	0:23	0:00
0AJ 301 107 G	15	6:40	0:09	0:00	0:09	0:06	0:08	0:00
0DQ 301 103 A	12	0:00	0:11	0:01	0:18	0:09	0:08	0:00
0DQ 301 103 H	10	0:00	0:13	0:05	0:18	0:12	0:10	0:15
02T 301 107 AG	9	0:00	0:11	0:07	0:53	0:13	0:09	0:00
04C 103 023 J	8	0:00	0:09	0:00	0:16	0:09	0:10	0:05
0AJ 301 103 H	6	18:00	0:19	0:04	0:35	0:19	0:28	0:16
04C 103 023 H	6	0:00	0:18	0:00	0:16	0:17	0:18	0:00

Z obrázku 35 na straně 43 je patrný rozdíl doby měření u jednotlivých dílů. Některá měření klikových hřídelí trvají pouze několik minut, zatímco hlavní operace měření převodovky (operace 10) trvá kolem půl hodiny. Tento rozdíl by měl být zohledněn u automatizovaného systému sortování a prioritizace dílů v automatizovaném středisku. Je výhodné, aby díly s podobnou dobou měření byly měřeny vždy na jednom stroji, aby byla zajištěna plynulost průtoku dílů měřicím střediskem. Díky automatizovanému řešení bude možné eliminovat zvýšené časy manipulace u bloků motorů, které jsou způsobeny vyšší hmotností bloků motorů a nutností manipulace s pomocí ručního jeřábu.

Pro automatizaci bude nutné zajistit úplnou čistotu dílů. Mezi díly, které bylo nutné nejvíce dočišťovat patří skříň převodovky 02T 301 103 AB, skříň spojky 0DQ 301 107 B a skříň spojky 02T 301 107 AG. Pokud se nepodaří zajistit čistotu přijímaných dílů, bude nutné do automatizovaného řešení začlenit také proces čištění dílů, například pomocí ultrazvukové čističky. S tímto prvkem ovšem prozatím nebylo při návrhu layoutů počítáno.



Obrázek 37 Rozložení časů při měření

Obrázek 37 vyjadřuje zjištěné rozložení času strojů. Čas samotného měření tvoří pouze 44 %, zatímco 49 % času. V položce Ostatní jsou zahrnuty další činnosti operátora (příprava měření, manipulace na CMM a z CMM, doba vyhodnocení, výměna přípravků a snímačů). Z tohoto grafu je patrné, že kapacita stroje je značnou část času nevyužitá. Prodlevy vznikají ve chvíli, kdy stroj čeká na příchod operátora a také z důvodu povinných přestávek operátora. Tyto časy by mohl být eliminovány pomocí zvýšení automatizace střediska.

Kalibrace strojů představuje v celkovém času přibližně 2 %. Kalibrace probíhá pouze jednou denně, ale v případě automatizovaného systému by bylo možné tuto četnost dále optimalizovat podle potřeby za cílem maximální přesnosti přístrojů.

Přesnost zjištěných hodnot a rozložení časů může být ovlivněno nepřesností sběru dat při zahájení a ukončení každého pozorování (doměření již probíhajícího měření). Přesnější stanovení rozložení časů by bylo možné s pomocí dat o celkovém množství změřených dílů ve středisku za delší časové období a následném využití zjištěných hlavních a vedlejších časů z této práce.

## 8 Návrh automatizované dopravy dílů do střediska

### 8.1 Doprava dílů na středisko


Pro dopravu dílů na středisko se nabízí několik automatizovaných řešení s využitím AGV vozíků. Limitujícími faktory jsou potřebná přepravní kapacita a omezený prostor v místnosti u robota. Zároveň je potřeba zajistit vyložení dílů z obou stran vozíku, vozík tedy musí mít možnost se otočit. Pro dopravu dílů na středisko byly zmapovány tyto možnosti:

#### 8.1.1 Tunelové AGV


Jedná se AGV určený pro přepravu materiálu, který je uložený například na regálu. Systém funguje tak, že AGV přijede pod regál stojící buď na nožičkách nebo na kolečkách. Horní plocha AGV se zdvihne a váha regálu je nesena pouze AGV. V měrovém středisku by bylo výhodné využít vozíků, které mají schopnost otočit se na místě, případně pouze s malým poloměrem otáčení. V takovém případě by vozík přijel na určené místo ve výrobě a naložil regál s díly pro změření. Regál by umístil na určené místo, kam má robot zakládající díly do přípravků dostatečný dosah. Vzhledem k tomu, že díly jsou na vozíku umístěny symetricky na obou stranách, pravděpodobně bude nutné vozík v průběhu vykládání otočit. Tato operace může být provedena samotným AGV, případně použitím otočné desky, na kterou by byl celý regál položen. AGV nemusí být v průběhu vykládání celou dobu přítomen, ale může být využit například pro odvoz již změřených dílů, nebo může být nabíjen.

Na trhu je v současné době několik výrobků naplňující výše popsané požadavky. Patří mezi ně například TransCar od firmy Swisslog nebo ActiveOne Omni od firmy Activesapce. Jich základní parametry jsou popsány v následujících tabulkách. Výrobě těchto AGV vozíků se také věnuje například firma Sevant, nebo Kuka.

Tabulka 4 Parametry plochého AGV od společnosti Swisslog [34]

Název	TransCar
Společnost	Swisslog
	
Rozměry	1706 x 580 x 330 mm
Nosnost	500 kg
Rychlost	1,8 m/s
Výška zdvihu	95 mm
Kapacita baterie	140 AH (24V)

Tabulka 5 Parametry plochého AGV od společnosti Active Space Automation [35]


Název	ActiveOne
Společnost	Active Space Automation
	
Rozměry	1500 x 500 x 190 mm
Nosnost	800 kg
Rychlost	1,5 m/s
Výška zdvihu	90 mm
Kapacita baterie	Nespecifikováno




### 8.1.2 Paletový vozík AGV

Na trhu je k dispozici poměrně velké množství AGV vozíků, které fungují na principu zdvižného vozíku. AGV pomocí vidlice nabere paletu, převeze na požadované místo a opět vycouvá. Místo palety může být převážen přímo regál se založenými nebo pověšenými díly. Tento typ AGV má poměrně dobrou manévrovatelnost a může být použit v těsných prostorech. AGV může být vyvažovaný (například typ CB 750 AGV od firmy JBT) nebo kompaktní (Nipper od společnosti Nipper Intelligent Pallettruck).

Tabulka 6 Parametry paletového AGV od společnosti JBT [36]

Název	CB 750 AGV
Společnost	JBT
	
Rozměry	Nespecifikováno
Nosnost	750 kg
Rychlost	1,8 m/s
Výška zdvihu	Až 6 metrů

Tabulka 7 Parametry kompaktního AGV od společnosti Nipper [37]

Název	Nipper
Společnost	Nipper pallettruck
	
Rozměry	1439 x 647 x 263 mm
Nosnost	1000 kg
Rychlost	2 m/s
Výška zdvihu	Nespecifikováno
Kapacita baterie	50Ah

V následující kapitole jsou zmapovány možnosti vnitřního uspořádání měrového střediska, které předpokládají využití některého z výše popsaných systémů. Díky podobným vlastnostem uvedených AGV (zejména schopnost pohybu na malém prostoru) jsou tyto systémy zaměnitelné a v jednotlivých variantách jsou pouze naznačeny. Pro zvážení implementace těchto vozíků by bylo nutné provést hlubší analýzu a stanovit počet potřebných AGV vozíků tak, aby byl zajištěn plynulý provoz měrového střediska – příjem a odesílání dílů a nabíjení AGV vozíku.

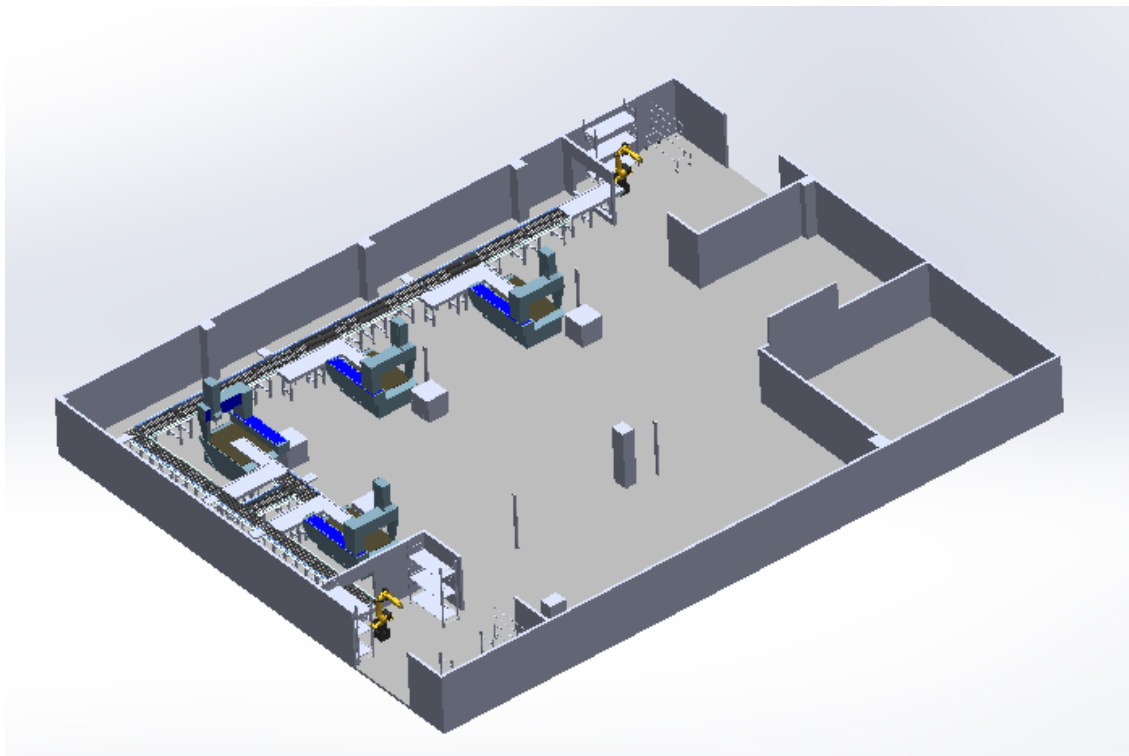
## 9 Návrh automatizované dopravy dílů v rámci střediska

Pro automatizaci střediska bylo vypracováno několik variant. Varianty s označením 1 až 3 předpokládají využití válečkového dopravníku pro přepravu přípravků s díly ke strojům. Varianty 4 a 5 používají pro dopravu dílů ke strojům AGV vozík (interní, pohybující se pouze v měřicím středisku).

### 9.1 Návrh layoutu varianty 1

Varianta 1 využívá válečkového dopravníku pro dopravu dílů. Válečkový dopravník byl zvolen z důvodu nízké ceny (oproti například systémům AGV). Varianta 1 počítá s využitím dvou robotů. První robot je určený pro sundávání dílů z regálu dovezeného AGV vozíkem a jejich umísťování do přípravku. Robot pomocí optického snímače určí polohu dílu na vozíku a načte QR kód dílu. Z regálu robot vybere vhodný přípravek a vloží ho na válečkový dopravník. Robot umístí díl do přípravku a mechanicky zajistí díl v přípravku. K tomuto účelu bude nutné použít přípravky ve kterých může robot díl zajistit.

Přípravky s díly dále pokrčují po pásu až k sorteru u příslušného stroje, kde je načten QR kód, přípravek je zastaven a posunut směrem do zásobníku stroje. Použití zásobníku umožní snížit neproduktivní manipulační časy. Předpokládá se použití systému Tass od firmy Zeiss, který umožní meziskladování až pěti přípravků. Přípravek je posunut v drážkách až do měřicího prostoru stroje. Systém stroje spustí program odpovídající danému dílu. Po změření přípravek s dílem pokračuje dále po válečkovém dopravníku.



Obrázek 38 Návrh layoutu varianty 1

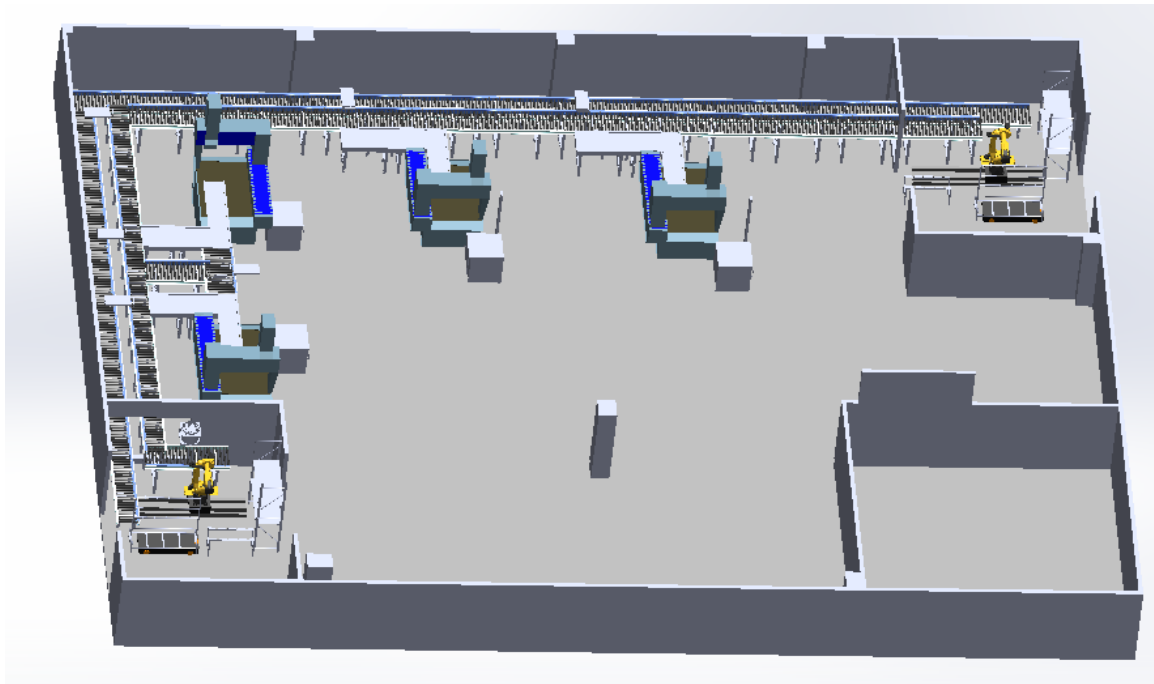
V tomto rozestavení bylo použito dvou možností napojení zásobníku stroje. První je napojení do hnízda dvou strojů, které mají společnou část válečkového dopravníku ve tvaru T pro transport již změřených dílů. Druhý způsob napojení je realizován přímým napojením zásobníku stroje na válečkový dopravník. Tento způsob napojení umožňuje umístění strojů P2 a P3 na stávajících betonových základech. Nicméně pokud se na dopravníku již pohybuje jiný přípravek, stroj musí čekat, než projede, aby mohl odeslat změřený díl a až poté může být do prostoru stroje dopraven nový díl.

### **9.1.1 Zhodnocení varianty 1**

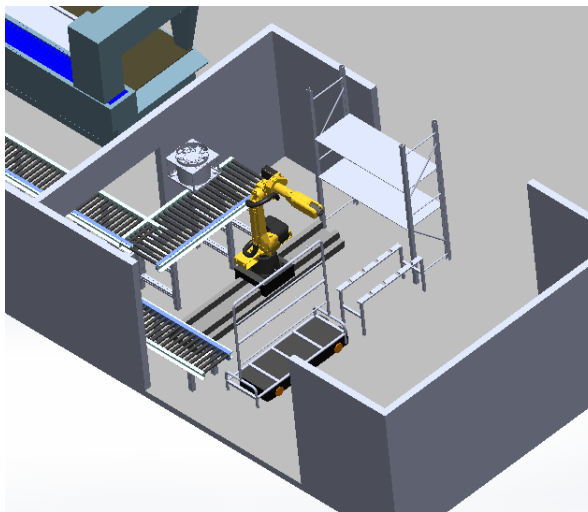
Jedná se o počáteční variantu layoutu. Hlavním nedostatkem varianty je komplikovaný způsob návratu přípravků do vstupní místnosti. Tyto přípravky by musely být přepravovány vozíky AGV a to buď venkem (což je zbytečně časově náročné) nebo vnitřkem střediska, což klade nároky na další vybavení jako automatické dveře a zároveň zvyšuje prašnost vnitřního prostředí. U této varianty také není dostatečně vyřešen systém skladování přípravků, protože skladovací kapacita regálů by byla pravděpodobně nedostačující. Prostor pro výklad a náklad dílů je poměrně malý a nedovoluje uskladnění více vozíků s díly u robota. Tyto nedostatky byly zohledněny v následujících variantách, ve kterých byl tento systém optimalizován.

## **9.2 Návrh layoutu varianta 2**

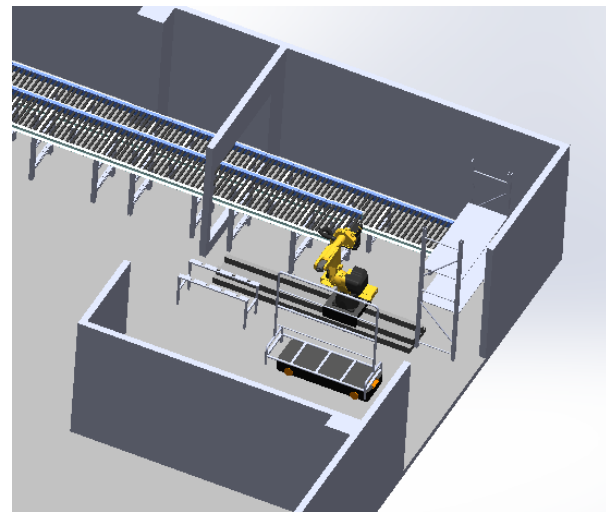
U této varianty byla přidán další válečkový dopravník, který umožní jednoduše přepravovat prázdné přípravky z výstupní místnosti do vstupní místnosti. Zároveň byly roboty umístěny na kolejnice pro zvětšení oblasti, na které mohou operovat. Na vstupu byl umístěn větrák a IR teploměr, podle kterého systém vyhodnotí, zda může díl pokračovat dále, nebo je nutné ho dochladiť. U robota je také umístěn stojan pro koncové nástroje robota. Robot musí mít úchopy pro různé díly (skříň převodovky, blok motoru, kliková hřídel a pro transport přípravků).



Obrázek 39 Návrh layoutu varianty 2



Obrázek 40 Detail vstupní místnosti varianty 2



Obrázek 41 Detail výstupní místnosti varianty 2

### 9.2.1 Zhodnocení varianty 2

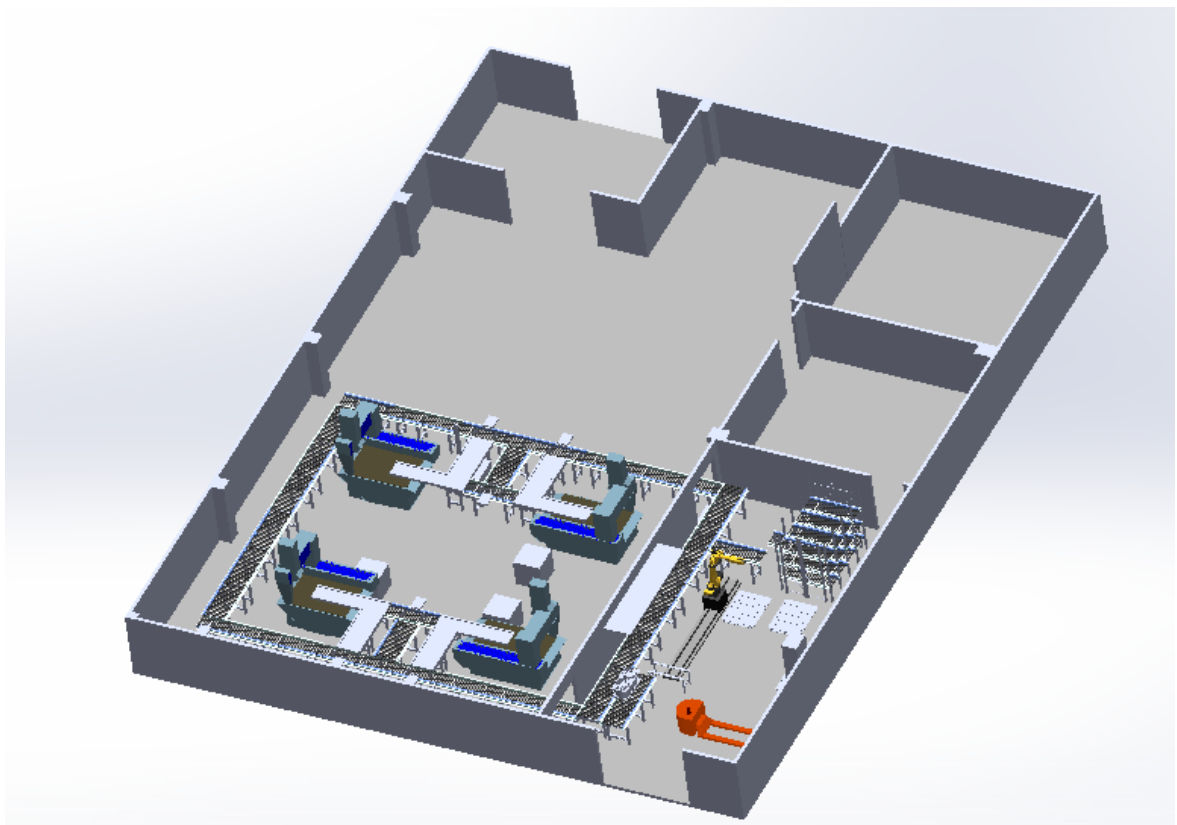
V této variantě byl vyřešen způsob dopravy dílů zpět do vstupní místnosti a zároveň má robot díky kolejnici větší operační prostor. Nicméně skladovací prostory jsou u této varianty nedostačující, což je způsobeno hlavně omezeným prostorem obou místností. U této varianty byl také řešen způsob

transportu dílů na středisko. Vzhledem k malému prostoru musí mít AGV vozík velmi malý poloměr otáčení nebo schopnost otočit se na místě.

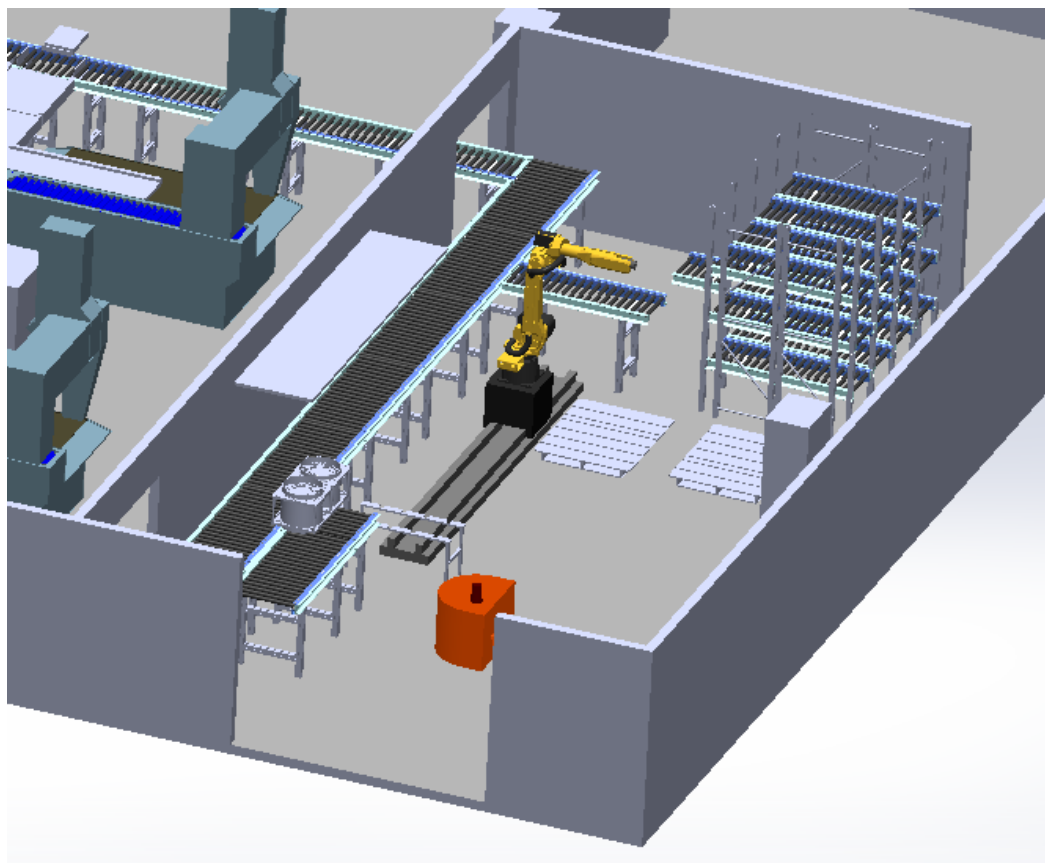
### 9.3 Návrh layoutu varianta 3

U této varianty byl válečkový dopravník uzavřen do okruhu. Zakládání dílů a uvolňování dílů z přípravků díky tomu může obstarat pouze jeden robot. Byla zvětšena místnost s robotem a do ní byl instalován sklad pro přípravky s kartézským zakladačem. Při přijetí dílu robot naskenuje QR kód na dílu a kartézský zakladač vybere ze skladu příslušný přípravek. Tento přípravek přejezdí na můstek mezi skladem a okruhem. Robot na přípravek umístí díl a přípravek s dílem je přepraven na okruh. Před přejetím do samotné laboratoře je dílu změřena teplota pomocí IR teploměru. Pokud je teplota dílu vyšší, než je přípustná, díl je přesměrován do vedlejšího ramena válečkového dopravníku, nad kterým je umístěn chladič systém. Po vyrovnání teploty díl pokračuje do laboratoře.

Po změření je přípravek s dílem okruhem dopraven zpět a odkloněn z okruhu na můstek. Robot uvolní díl, založí ho do vozíku a přípravek je opět uskladněn kartézským zakladačem.



Obrázek 42 Návrh layoutu varianty 3



Obrázek 43 Detail místnosti s robotem varianty 3

### 9.3.1 Zhodnocení varianty 3

Uzavření válečkového dopravníku do okruhu zefektivnilo dopravu přípravků zpět k robotu. Hlavní výhodou této varianty je eliminace nákladů na dalšího robota. Použití jednoho robota je vzhledem časové náročnosti samotného měření dostačující a tento robot by byl lépe využit než dva roboti v předchozích variantách. Okruh z válečkového dopravníku by měl zahrnovat místo umožňující vstup obsluhy ke strojům.

Použití skladu s kartézským zakladačem umožňuje skladování potřebného množství přípravků. Robot umístěný na kolejnici má dostatek prostoru pro vykládání a nakládání dílů.

Naznačený systém chlazení využívá vedlejší ramena válečkového dopravníku. Nevýhodou zvoleného řešení je riziko blokace dílů v případě, že do chladicího ramena zajede nejprve díl s velmi vysokou teplotou a následuje ho díl, který má teplotu jen mírně vyšší, než je požadováno. Chladnější díl poté musí čekat na úplné vychlazení dílu před ním.

Tato varianta je výhodná z hlediska využití prostoru. Díky umístění strojů blízko sebe se uvolnila zadní část laboratoře. Tento prostor může být využit pro umístění dalších dvou strojů, které mohou být

v případě potřeby napojeny na stávající válečkový dopravník s minimálními dalšími náklady. Přestavbou prostoru zároveň vznikla další místnost, která může být využita jako velín celého systému.

#### 9.4 Návrh layoutu varianta 4

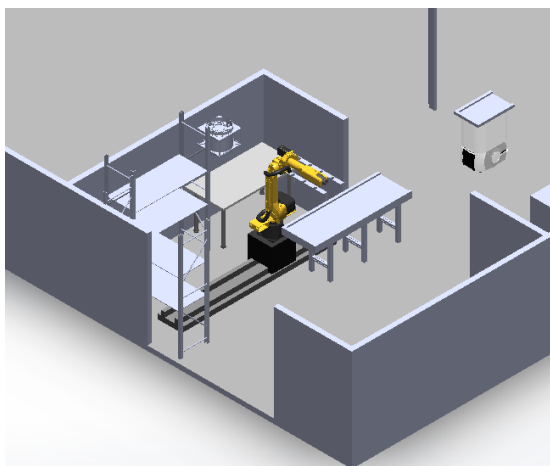
Varianta 4 využívá pro přepravu dílů ke strojům interní AGV střediska. Vozík zobrazený v návrhu je model LD od firmy Omron. Robot z regálu vybere vhodný přípravek, umístí ho do zásobníku a upne díl. Chlazení dílů je řešeno umístěním přípravku s dílem na stůl pod chladicí systém.

AGV vozík přebere přípravek a přepraví ho ke stroji, kde je otočný stůl. Přípravek s nezměřeným dílem je umístěn na vnější konec stolu, kde čeká na změření předchozího dílu. Změřený díl poté najede na otočný stůl. Otočením stolu dojde k rychlé výměně nezměřeného kusu za změřený. Otočný stůl tedy funguje jako jednodusový buffer.

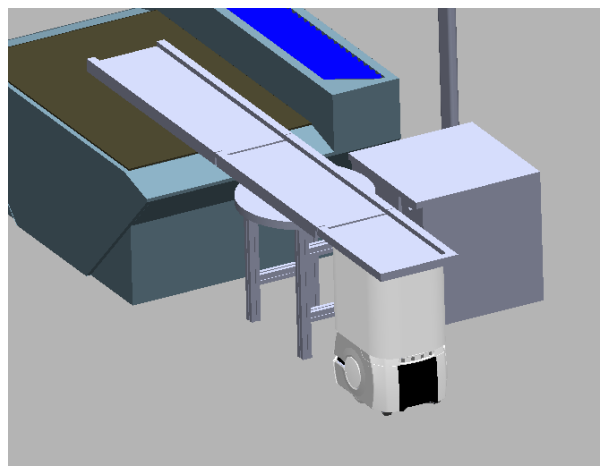


Obrázek 44 Návrh layoutu varianty 4





Obrázek 45 Detail vstupní místnosti varianty 4



Obrázek 46 Detail otočného stolu

#### 9.4.1 Zhodnocení varianty 4

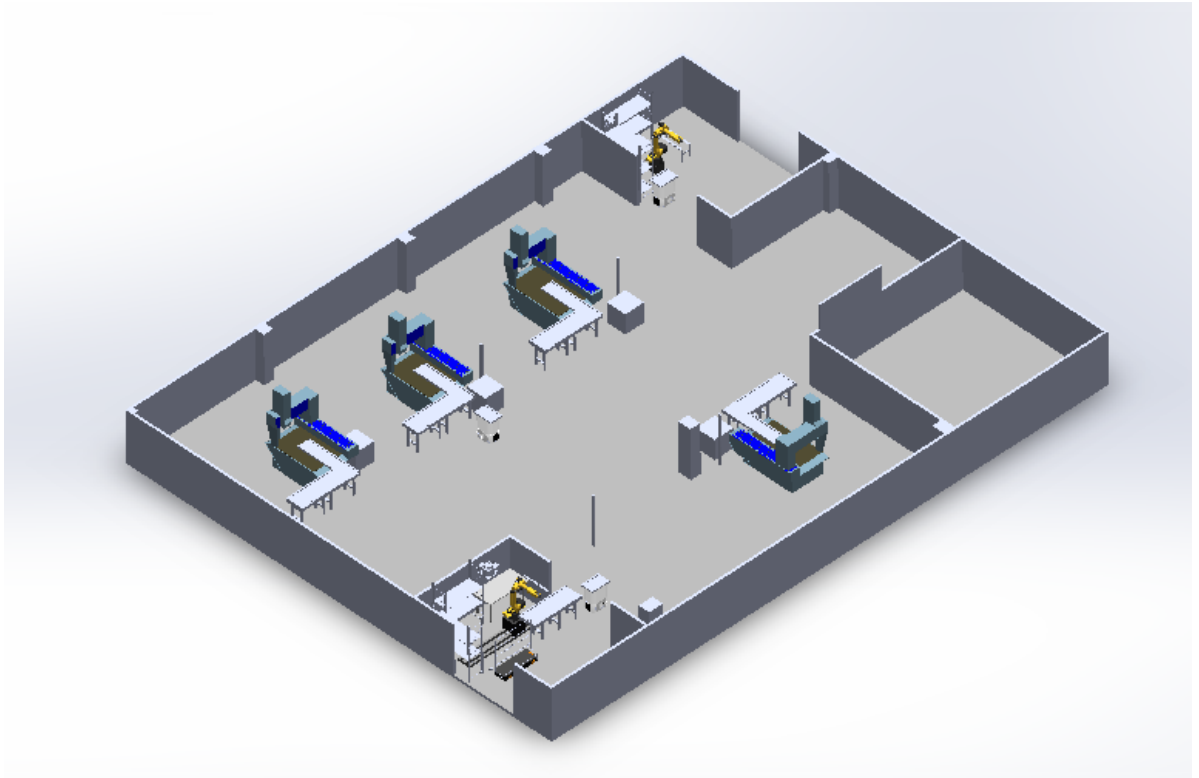
Díky využití AGV vozíků je prostor střediska snadno dostupný i pro obsluhu, což je výhodné v případě potřeby speciálního kusového měření nebo při řešení chybových stavů. Pro implementaci také není nutné přemísťovat stroje. Zároveň je možné poměrně jednoduše systém rozšířit přidáním dalších strojů a dalších AGV vozíků.

Nevýhodou této varianty je potřebné množství AGV vozíků, aby byl zajištěn plynulý provoz. AGV vozíky je také potřeba pravidelně nabíjet, což snižuje jejich operační schopnost. AGV vozíky jsou nákladnější oproti variantě s válečkovým dopravníkem.

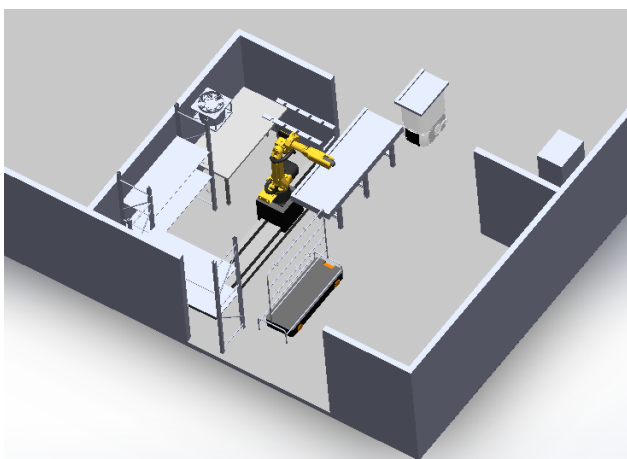
Pro větší dosah byl robot umístěn na kolejnici. Pro další optimalizaci by musel být zvětšen prostor pro skladování přípravků, například přestavbou prostoru, podobně jako u varianty 3.

## 9.5 Návrh layoutu varianta 5

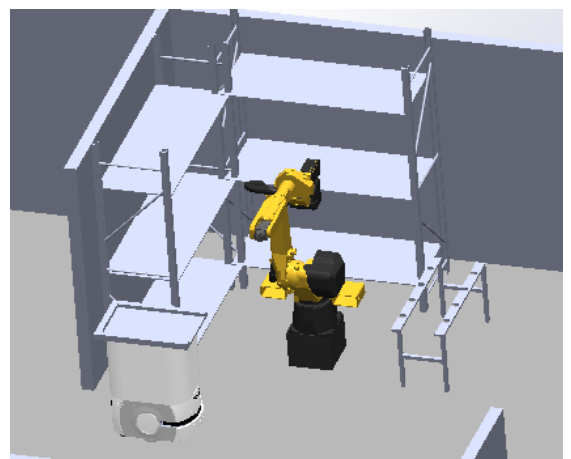
U této varianty bylo využito zásobníku u každého stroje za účelem zvýšení flexibility systému. Ostatní části systému zůstávají stejné jako u varianty 4.



Obrázek 47 Návrh layoutu varianty 5



Obrázek 48 Detail vstupní místnosti varianty 5



Obrázek 49 Detail výstupní místnosti varianty 5

### 9.5.1 Zhodnocení varianty

Využitím zásobníku u každého stroje se snižují nároky na AGV vozíky, pro obsluhu střediska by pravděpodobně stačily pouze dva kusy.

## 9.6 Ekonomické zhodnocení varianty 3

Pro předběžné ekonomické zhodnocení byla vybrána varianta 3, protože oproti variantám s AGV vozíkem představuje nižší investici. Využívá pouze jednoho robota, který je určen jak pro příjem tak i odeslání dílů. Tabulka 8 vyčísluje přehled hrubých nákladů. Náklady na jednotlivé komponenty jsou pouze orientační, pro přesnější výpočet bude nutné popsat dané komponenty u dodavatelů.

Robot použitý pro výpočet je CR-35iA od firmy FANUC s nosností 35 kg. Jedná o kolaborativního robota, v jeho pracovním prostoru se mohou pohybovat lidé. Oproti běžným kolaborativním robotům vyžaduje složitější naprogramování – více podobné běžným průmyslovým robotům. Na trhu jsou k dispozici i modely s jednoduchým programováním, ale ty nedisponují dostatečnou nosností.

Nejnákladnější částí systému je základní systém Tass od společnosti Zeiss, který slouží jako zásobník přípravků s díly u každého stroje a zároveň slouží pro dopravu přípravku přímo do měřicího prostoru stroje a jeho zajištění. V případě, že by bylo možné využít jiný alternativní systém s podobnými vlastnostmi a nižší cenou, bylo by možné velikost investice snížit.

Pro výpočet celkových hrubých nákladů byl využit koeficient 1,7 jako odhadovaný poměr nákladů na instalaci a zprovoznění vzhledem k ceně jednotlivých částí systému.

Tabulka 8 Přehled hrubých nákladů

Stroj	Počet	Cena (Kč/kus)	Cena (Kč)
Válečkový dopravník	50	6 800	340 000
Válečkový dopravník - sorter	10	11 332	113 322
Robot CR-35iA	1	1 971 805	1 971 805
Robot - naprogramování	1	226 000	226 000
Robot - koncové nástroje	1	579 000	579 000
Robot - kolejnice	1	320 000	320 000
Tass - Zeiss system	4	3 300 000	13 200 000
Sklad s kartézským zakladačem	1	500 000	500 000
Systém chlazení	1	25 000	25 000
Přípravky	20	40 000	800 000
Náklady na přestavbu	1	70 000	70 000
		<b>Celkem</b>	<b>18 145 128</b>
		<b>Koeficient</b>	<b>1,7</b>
		<b>Celkem hrubé náklady</b>	<b>36 300 255</b>

Dále byla stanovena velikost současné kapacity pro 4 stroje za předpokladu že mohou být v chodu 22,5 hodiny denně. Zbytek času připadá na povinné přestávky a údržbu stroje. Současné využití této kapacity je přibližně 60 %. Při automatizaci je očekáván nárůst využití kapacity díky eliminaci časů, kdy stroj musí čekat na příchod obsluhy. Výpočet byl zpracován pro předpokládaný nárůst na 80 % a 90 %. Tabulka 9 uvádí předpokládané využití kapacity.

Tabulka 9 Současné využití kapacity a předpokládané využití kapacity (měsíčně)

<b>Měsíční kapacita pro 4 stroje (hod)</b>	2700
<b>Využití kapacity v současnosti</b>	60 %
<b>Skutečná kapacita (hod)</b>	1620
<b>Kapacita při využití 80 % (hod)</b>	2160
<b>Kapacita při využití 90 % (hod)</b>	2430

Tabulka 10 uvádí předpokládanou měsíční velikost úspory díky navýšení využití kapacity. Výpočet byl proveden pro hodinovou sazbu CMM 1200 Kč/hod.

Tabulka 10 Měsíční úspora díky navýšení využití kapacity

	<b>Nárůst využití kapacity měsíčně (hod)</b>	<b>Měsíční úspora (Kč)</b>
<b>80% využití kapacity</b>	540	658 000
<b>90% využití kapacity</b>	810	972 000

Při zavedení automatizovaného stavu vzrostou náklady na provoz (energie) a údržbu střediska. Tyto náklady uvádí Tabulka 11. Náklady na provoz robota byly stanoveny podle průměrné spotřeby robota (1kW) při ceně 3,8 Kč/kW. U ostatních hodnot se jedná o hrubý odhad.

Tabulka 11 Náklady na provoz a údržbu

<b>Stroj</b>	<b>Náklady na provoz za rok</b>	<b>Náklady na údržbu za rok</b>
<b>Robot</b>	31 200	32 000
<b>Dopravník + Tass systém</b>	124 830	40 000
<b>Celkem</b>	<b>156 038</b>	<b>72 000</b>

Tabulka 12 uvádí kalkulaci doby návratnosti investice, stanovené podle vztahu pro diskontovanou dobu návratnosti:

$$TN_P = \frac{IN}{DCF}$$

kde  $IN$  představuje náklady na investici  $DCF$  diskontovaný roční peněžní tok

$DCF$  je určen vztahem:

$$DCF = \frac{CF}{(1+i)^t}$$

kde  $CF$  je roční peněžní tok,  $t$  je rok ke kterému se  $DCF$  počítá a  $i$  je diskontní sazba. Diskontní sazba se v oblasti automobilového průmyslu pohybuje v rozmezí 8 až 12 %. Pro potřeby výpočtu byla zvolena spodní hranice tohoto intervalu.

Tabulka 12 Doba návratnosti a NPV

	80% využití kapacity	90% využití kapacity
<b>Úspora za rok navýšením kapacity CMM</b>	7 776 000	11 664 000
<b>Úspora za personál</b>	6 446 400	6 446 400
<b>Náklady na provoz a údržbu</b>	228 000	228 000
<b>Celková úspora za rok</b>	13 994 363	17 882 363
<b>Prostá doba návratnosti</b>	2,59	2,03
<b>Diskontní sazba</b>	8%	8%
<b>Diskontovaná doba návratnosti</b>	3,02	2,31
<b>NPV (pro životnost projektu 6 let)</b>	28 393 999	46 367 755

Čistá současná hodnota  $NPV$  se stanoví podle vztahu:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Kde  $CF_t$  jsou finanční toky v jednotlivých letech,  $i$  je diskontní sazba a  $n$  je doba životnosti projektu.

Provedený výpočet  $NPV$  přináší pouze orientační představu o hodnotě projektu. Při výpočtu  $NPV$  nebyla zohledněna změna finančních toků v jednotlivých letech způsobená růstem mezd a rostoucí cenou energií.

## 10 Závěr

V této práci byly popsány myšlenky průmyslu 4.0 a technologie, které čtvrtou průmyslovou revoluci umožňují. Dále byly popsána manipulační technika potřebná pro zvýšení úrovně automatizace. Další kapitoly byly věnovány technice využívající souřadnicové měřicí stroje.

V rámci měrového střediska ve společnosti Škoda Auto v Mladé Boleslavi byla provedena analýza stávajícího stavu střediska. Byl vytvořen model střediska s aktuálním rozmístěním strojů a dalších prvků laboratoře. Proběhlo měření časové náročnosti jednotlivých úkonů při měření dílů, jehož výstupem je přehled doby měření jednotlivých dílů a stanovení vedlejších časů měření. Bylo zjištěno, že čistá doba měření zabírá pouze 44 % času. Mezi jednotlivými měřeními vzniká nevyužitý čas, kdy stroj čeká na příchod obsluhy. Další čas zůstává nevyužitý z důvodu povinných přestávek obsluhy. Uvedené skutečnosti dávají prostor pro zvýšení automatizace střediska, která by tyto časy eliminovala.

V další části práce byly představeny možné automaticky naváděné vozíky vhodné pro automatizovanou dopravu dílů do střediska a zpět do výroby. Pro nasazení těchto AGV vozíků by byla potřeba další analýza určující počet potřebných vozíků, aby byl zajištěn plynulý provoz střediska s ohledem na nutnost nabíjení AGV vozíků.

Postupnou optimalizací bylo vytvořeno několik návrhů layoutů pro přepravu dílů v rámci střediska. První tři využívají pro dopravu válečkový dopravník, zatímco u zbylých dvou zajišťují dopravu interní vozíky AGV. Jako nejvýhodnější byla zvolena varianta 3 využívající válečkového dopravníku uzavřeného do okruhu s jedním robotem sloužícím pro manipulaci s díly. Součástí varianty je také sklad přípravků s kartézským zakladačem. Pro variantu 3 byla následně vytvořena hrubá ekonomická kalkulace, jejíž cílem bylo zjistit realizovatelnost projektu. Za předpokladu, že díky automatizaci by bylo dosaženo 80% využití kapacity strojů, byla by diskontovaná návratnost investice 3 roky, pro 90% využití kapacity je diskontovaná návratnost investice 2,5 roku. Tyto hodnoty jsou pouze orientační, pro přesnější kalkulaci by bylo nutné poptat cenu jednotlivých komponentů i jejich implementace. Zjištěné doby návratnosti nicméně ukazují, že tento projekt je realizovatelný a má smysl se jím dále zabývat.

Pro implementaci automatizovaného řešení bude potřeba zajistit systém čištění dílů tak, aby měřené díly byly čisté a nedocházelo k chybám v měření. V této práci také není řešen systém měření dílů, které jsou měřeny na otočném stole (klikové hřídele). Dále bude nutné navrhnout konkrétní systém označování dílů, například pomocí QR kódů a systém měření teploty. Vzhledem k omezenému počtu snímačů, které jsou na každém stroji k dispozici je také potřeba vyřešit systém přiřazování dílů k jednotlivým strojům a případně použít otočný zásobník s větší kapacitou snímačů.

Automatizace střediska může kromě zvýšení využití kapacity strojů přinést také další výhody. Mezi ně lze zařadit možnost využití stávajících operátorů na jiném pracovišti, což je výhodné vzhledem k všeobecnému nedostatku kvalifikovaných pracovníků. Dále bude možné díky automatizaci optimalizovat systém kalibrace strojů, což může zvýšit přesnost měření.

Výsledky této diplomové práce ukazují výhodnost zavedení automatizovaného řešení a podporují další pokračování tohoto projektu.

## 11 Bibliografie

- [1] MARCOŇ, Petr. *Průmysl 4.0 (Industry 4.0)* [online]. b.r. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: [http://www.utee.feec.vutbr.cz/iet/wp-content/uploads/sites/2/2016/10/Industry4\\_0\\_Marcon.pdf](http://www.utee.feec.vutbr.cz/iet/wp-content/uploads/sites/2/2016/10/Industry4_0_Marcon.pdf)
- [2] ANTONÍN, Vojáček. Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0 / Průmysl 4.0 ?. *Automatizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skrывa-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- [3] GILCHRIST, Alasdair. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. New York, NY: Springer Science Business Media, 2016. ISBN 978-1-4842-2046-7.
- [4] How Industry 4.0 Design Principles Are Shaping the Future of Intralogistics. *Swisslog* [online]. b.r. [cit. 2019-06-28]. Dostupné z: [https://scg-mmh.s3.amazonaws.com/pdfs/swisslog\\_wp\\_industry\\_ebook\\_021918.pdf](https://scg-mmh.s3.amazonaws.com/pdfs/swisslog_wp_industry_ebook_021918.pdf)
- [5] ALUR, Rajeev. *Principles of cyber-physical systems*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2015. ISBN 978-026-2029-117.
- [6] AHMADI, Ahmadzai a Chantal CHERIFI. A Review of CPS 5 Components Architecture for Manufacturing Based on Standards. *HAL Archives* [online]. University Lyon, b.r., , 7 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01679977/document>
- [7] LEE, Jay, Behrad BAGHERI a Hung-An KAO. *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry4.0-based manufacturing systems* [online]. In: . b.r., s. 6 [cit. 2019-03-17].
- [8] Gartner. *IT Dictionary* [online]. b.r. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things/>
- [9] Internet of things. *English Oxford Living Dictionaries* [online]. b.r. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: [https://en.oxforddictionaries.com/definition/internet\\_of\\_things](https://en.oxforddictionaries.com/definition/internet_of_things)
- [10] GREER, Chris. The Intersection of IoT and CPS. In: GREER, Chris. *National Institute of Standards and Technology* [online]. 2017, s. 27 [cit. 2019-03-27].



- [11] MCCARTHY, Dave. *IIoT v podniku: tři způsoby, jak z něj profitovat* [online]. b.r. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/digitalizace/prumyslovy-internet-veci/iiot-v-podniku-tri-zpusoby-jak-z-nej-profitovat.html>
- [12] HOLUBOVÁ, Irena, Jiří KOSEK, Karel MINAŘÍK a David NOVÁK. *Big Data a NoSQL databáze*. Praha: Grada, 2015. Profesionál. ISBN 978-80-247-5466-6.
- [13] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Metrologie a řízení kvality: učební text*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2771-1.
- [14] HOCKEN, Robert J. a Paulo H. PEREIRA. *Coordinate measuring machines and systems*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 9781574446524.
- [15] *Coordinate Measuring Machines: Reliable, high-quality measuring technology* [online]. b.r. [cit. 2019-07-15]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines.html>
- [16] TICHÁ, Šárka a Jaromír ADAMEC. *Návody do cvičení z předmětu strojírenská technologie* [online]. b.r. [cit. 2019-07-15].  
Dostupné z: <https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/346/cs/studium/studijni-literatura/NAVODY-DO-CVICENI-Z-PREDMETU-strojirenska-metrologie.pdf>
- [17] LAMB, Frank. *Industrial automation: hands-on*. New York: McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 9780071816458.
- [18] DINWIDDIE, Keith. *Industrial robotics*. 1st edition. San Francisco, CA: Cengage Learning, 2018. ISBN 978-1-1336-1099-1.
- [19] ŽÁČEK, Michal. *Průmyslové roboty. Factoryautomation* [online]. b.r. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [20] Types of Conveyors. *ThomasNet: For industry* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/plant-facility-equipment/types-of-conveyors>
- [21] FAZLOLLAHTABAR, Hamed a Mohammad SAIDI-MEHRABAD. *Methodologies to Optimize Automated Guided Vehicle Scheduling and Routing Problems: A Review Study* [online]. In: .

- 2015, 77(3-4), s. 525-545 [cit. 2019-03-18]. DOI: 10.1007/s10846-013-0003-8. ISSN 0921-0296.  
Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10846-013-0003-8>
- [22] Guidance / Navigation Technology. *Transbotics a Scott Company* [online]. b.r. [cit. 2019-03-18].  
Dostupné z: <https://www.transbotics.com/learning-center/guidance-navigation>
- [23] BENEVIDES, Chris. The Advantages and Disadvantages of Automated Guided Vehicles (AGVs). *Conveyco: Good People. Great Solutions.* [online]. b.r. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://www.conveyco.com/advantages-disadvantages-automated-guided-vehicles-agvs/>
- [24] MEREDITH, David. *Vibration isolation treatments for coordinate measuring machines* [online].  
In: . b.r., s. 11 [cit. 2019-07-18].
- [25] KRATINA, Jakub. *Lineární teplotní roztažnost materiálů* [online]. b.r. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/linearni-teplotni-roztaznost-mateialu>
- [26] VOJÁČEK, Antonín. Přehled principů el. měření teploty - 1. díl. *Automatizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [27] Snímače pro měření teploty: Experimentální metody - přednáška 10. In: *Technická univerzita v Liberci* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: [http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p%2010\\_snimace\\_teploty.pdf](http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p%2010_snimace_teploty.pdf)
- [28] VOJÁČEK, Antonín. Přehled principů el. měření teploty - 2. díl. *Automatizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rehled-principu-el-mereni-teploty-2-dil-bezdotykove>
- [29] KADLEC, Karel. Non-contact temperature measurement. In: *Ústav fyziky a měřicí techniky* [online]. b.r. [cit. 2019-04-01].  
Dostupné z: <https://ufmt.vscht.cz/index.php/en/component/phocadownload/category/65-laboratory-manuals-for-mce?download=895:noncontact-temperature-measurement-instructions-for-laboratory-work>
- [30] GRUNER, Klaus. *Principles of Non-Contact Temperature Measurement* [online]. In: . b.r., s. 32 [cit. 2019-04-05].

- [31] Historie Škoda. *Škoda Auto* [online]. b.r. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/o-nas/historie>
- [32] DUFEK, Jiří a Jan KRÁLÍK. *Historie automobilů Škoda: od roku 1905 do současnosti*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4878-8.
- [33] *Škoda storyboard: Rekordní výroba v ČR* [online]. b.r. [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: <https://cdn.skoda-storyboard.com/2019/01/190124-SKODA-AUTO-VYROBA-v-Ceske-Republice.pdf>
- [34] *TransCar Automated Guided Vehicle* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.swisslog.com/en-gb/healthcare/products/material-transport/transcar-automated-guided-vehicle>
- [35] ActiveOne OMNI. *Active Space* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.activespaceautomation.com/agv/activeone-omni/>
- [36] *CB 750 AGV: JBT* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.jbtc.com/en/north-america/automated-systems/products-and-applications/products/forked-agvs/counterbalance?lr=1>
- [37] *Nipper intelligent pallettruck* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: [https://www.dinostretchhood.com/wp-content/uploads/2017/11/20171006\\_NipperSpecsheet\\_EN\\_lr.pdf](https://www.dinostretchhood.com/wp-content/uploads/2017/11/20171006_NipperSpecsheet_EN_lr.pdf)