

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Automatizace výrobního procesu s využitím 3D Vision systému

Autor: Adam KIČ
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Broum, Ph. D.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adam KIČ**
Osobní číslo: **S20B0156P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Automatizace výrobního procesu s využitím 3D Vision systému**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Automatizace výroby
2. Vision systémy
3. Analýza současného stavu vybraného výrobního procesu
4. Návrh řešení
5. Závěr a vyhodnocení

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **0**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
2. CHLEBNÝ, Jan a kol. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
3. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Broum, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michael Froněk**
ARC-Robotics s.r.o., Plzeň

Oponent bakalářské práce: **Ing. Jakub Müller**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Broumovi, Ph.D. za cennou podporu a ochotu během psaní práce. Zároveň děkuji konzultantovi Ing. Michaelu Froňkovi a zaměstnancům společností ARC-Robotics s.r.o. a Daikin Industries Czech Republic s.r.o. za příležitost vytvořit projekt obsažen v bakalářské práci a předání cenných rad v oblasti automatizace a robotizace. V neposlední řadě děkuji své rodině, blízkým a kamarádům za to, že mi byli oporou při psaní této bakalářské práce a během studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kič	Jméno Adam	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Broum, Ph.D.	Jméno Tomáš	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Automatizace výrobního procesu s využitím 3D Vision systému		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	75	TEXTOVÁ ČÁST	55	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje návrh a implementaci zautomatizovaného pracoviště pro plnění dusíkem tepelného výměníku ve společnosti Daikin Industries Czech Republic s.r.o. Obsahem této práce je teoretická část zaměřena na automatizaci, robotizaci a 3D Vision systémy. Praktická část se zabývá analýzou aktuálního stavu pracoviště, návrhu řešení pracoviště s využitím robotizace a systému vidění, následná optimalizace pracoviště a vyhodnocení pracoviště z ekonomického hlediska a dle přínosů nového pracoviště.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Automatizace, robotizace, 3D Vision systém, plnění dusíkem, pracoviště, optimalizace, návrh

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Kič	Name Adam	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Broum, Ph.D.	Name Tomáš	
INSTITUTION	ZČU - FST – KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Automation of production process using 3D Vision system		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	75	TEXT PART	55	GRAPHICAL PART	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis contains the design and implementation of an automated workplace for nitrogen filling of a heat exchanger in Daikin Industries Czech Republic s.r.o. The content of this thesis is a theoretical part focused on automation, robotics, and 3D Vision systems. The practical part deals with the analysis of the current state of the workplace, the design of the workplace solution using robotics and vision systems, subsequent optimization of the workplace, and evaluation of the workplace from an economic perspective and the benefits of the new workplace.
KEY WORDS	Automation, robotics, 3D Vision system, nitrogen filling, workplace, optimization, design

Obsah

Úvod.....	10
1 Automatizace výroby	11
1.1 Rozdělení automatizace.....	12
1.2 Průmyslový robot	14
2 Vision systémy	22
2.1 Systém strojového vidění	22
2.2 Princip systému strojového vidění	23
2.3 Funkce 3D kamery	23
2.4 Parametry 3D Vision systémů.....	24
2.5 Typy 3D Vision systémů.....	27
3 Analýza aktuálního stavu pracoviště pro implementaci.....	31
3.1 DAIKIN.....	31
3.2 Neautomatizované pracoviště pro praktickou část.....	31
4 Návrh řešení	38
4.1 Specifikace požadavků	38
4.2 Dodavatel	38
4.3 Části pracoviště	39
4.4 Operace automatizovaného pracoviště.....	51
5 Optimalizace integrovaného pracoviště dle návrhu	55
5.1 Kalibrace 3D kamery	55
5.2 Optická kontrola kolen a děr pomocí 2D vidění	56
5.3 Pozicování pomocí 3D vidění	59
5.4 Optimalizace přídavků pro plnění	61
6 Vyhodnocení	63
6.1 Ekonomické vyhodnocení	63
6.2 Zhodnocení přínosů nového pracoviště.....	64
Závěr.....	65
Seznam použitých zdrojů	66
Seznam příloh.....	71
Příloha č. 1 - Schéma typů výměníků	72
Příloha č. 2 - Typy plnicích přídavků.....	74
Příloha č. 3 - Příkazové řádky programu plnění.....	75

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Průmyslové revoluce [3]	11
Obrázek 2 - Zakládací průmyslový FANUC robot [9]	13
Obrázek 3 - Manipulační robot DR-3iB [17]	16
Obrázek 4 - Svařovací robot ARC Mate 120iD [18]	16
Obrázek 5 - Potravinářský robot M-20iB/25C [19]	17
Obrázek 6 - Popis kinematického řetězce robota [15]	18
Obrázek 7 - Kloubový FANUC robot LR Mate 200iD/7L [24]	18
Obrázek 8 - Manipulační Delta robot M-1iA [26]	19
Obrázek 9 - SCARA Robot SR-3iA [29]	19
Obrázek 10 - Roboty FANUC pro svařování [30]	20
Obrázek 11 - Paletizační FANUC robot [31]	20
Obrázek 12 - Lakovací FANUC roboty PaintMate [32]	20
Obrázek 13 - Kolaborativní FANUC robot [34]	21
Obrázek 14 - Princip strojového vidění [36]	22
Obrázek 15 - Robotizace s 3D Vision systémem [42]	24
Obrázek 16 - Metoda ToF [49]	28
Obrázek 17 - Laserová triangulace [50]	28
Obrázek 18 - Pasivní stereo vidění [52]	29
Obrázek 19 – Aktivní stereo vidění [52]	29
Obrázek 20 - Strukturované světlo [53]	30
Obrázek 21 - Paralelní strukturované světlo [54]	30
Obrázek 22 - Výrobní závod DAIKIN, Plzeň [56]	31
Obrázek 23 – Ruční pájení kolen	32
Obrázek 24 - Schéma plnicích systémů výměníku	33
Obrázek 25 - Dopravování tepelného výměníku na pracoviště pro plnění dusíkem	34
Obrázek 26 - Ruční plnění dusíkem	34
Obrázek 27 - Vývojový diagram operací operátora	35
Obrázek 28 - Aktuální pracoviště	37
Obrázek 29 - Základní pohled na model navrženého pracoviště	40
Obrázek 30 - Řez modelu navrženého pracoviště	40
Obrázek 31 - Integrovaný válečkový dopravník	41
Obrázek 32 - Model paletky	41
Obrázek 33 - Integrovaná paletka s tepelným výměníkem na dopravníku	42

Obrázek 34 - FANUC LR Mate 200iD/7L	45
Obrázek 35 - Model přípravku pro plnění dusíkem	45
Obrázek 36 - Porovnávané kamery 3DV/400, RB 800, TriSpector 1030 [62–64]	46
Obrázek 37 - 3D Vision Sensor 3DV/400	47
Obrázek 38 - Hliníková konstrukce	48
Obrázek 39 - Optický snímač	48
Obrázek 40 - Elektromagnetický zámek	49
Obrázek 41 - Stínidla pracoviště	49
Obrázek 42 – Osvícení pracoviště pomocí LED světla	50
Obrázek 43 - Integrovaný laserový senzor	50
Obrázek 44 - Integrovaný indukční senzor	51
Obrázek 45 - ID čtečka čipu na paletce	51
Obrázek 46 - Vývojový diagram operací robota	53
Obrázek 47 - Ovladač robota s programem plnění	54
Obrázek 48 - Kalibrační deska kamery přimontovaná na průmyslového robota	55
Obrázek 49 - Automatická analýza pozic kalibrační desky	56
Obrázek 50 - Finální výstup kalibrace kamery	56
Obrázek 51 - 2D snímek kamery pro 2D kontrolu plnicí části výměníku	57
Obrázek 52 - Nalezená oblast pro vyhodnocení 2D kontroly	57
Obrázek 53 - Detekce plnicích děr při 2D kontrole	58
Obrázek 54 - Detekce pinchů při 2D kontrole	58
Obrázek 55 - Detekce kolen při 2D kontrole	58
Obrázek 56 - Překročené vychýlení paletky při 2D kontrole	58
Obrázek 57 - Vyměření hloubkových rozměrů objektu pomocí 3D Vision systému	59
Obrázek 58 - Získaný offset 3D souřadnic pomocí 3D Vision systému	59
Obrázek 59 - 3D model vyměřený pomocí 3D kamery	60
Obrázek 60 - Testování různých poloh pomocí 3D Vision systému	60
Obrázek 61 - Plnění dusíkem při vyšším vychýlení tepelného výměníku pomocí 3D Vision systému	61
Obrázek 62 - Chybné vyměření hloubkových rozměrů objektu pomocí 3D Vision systému	61
Obrázek 63 - Chybný nájezd plnění dusíkem	61
Obrázek 64 - Plnění dusíkem s dlouhými nastavci přípravku s menším hloubkou zájezdu	62
Obrázek 65 - Zkrácené nastavce přípravku pro plnění dusíkem	62
Obrázek 66 - Plnění dusíkem zkrácenými nastavci přípravku	62

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Základní informace o DAIKIN, Plzeň [55]	31
Tabulka 2 - Zohledněné typy řady FANUC LR Mate 200iD při rozhodování [61]	43
Tabulka 3 - Porovnávání typů robotů.....	44
Tabulka 4 - Naznačení dosahu určitých typů robota.....	44
Tabulka 5 - Porovnání typů kamer pro aplikaci	47
Tabulka 6 - Náklady na výstavbu a úspora nákladů.....	63

Přehled použitých zkratk a symbolů

AI	Artificial Intelligence
PLC	Programmable Logic Controller
IoT	Internet of Things
CPS	Cyber-Physical Systems
IT	Informační technologie
NC	Numerical Control
CNC	Computer Numerical Control
FMS	Flexible Manufacturing Systém
3D	Trojrozměrný
ISO	International Organisation for Standardisation
RTP	Robotizované Technologické Pracoviště
RTK	Robotizované Technologické Komplexy
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arms
HRC	Humanities Research Centers
MVS	Machine Vision Systém
MMI	Man-Machine-Interface
SD	Secure Digital
PLC	Programmable Logic Controller
PC	Programmable Controller
SNR	Poměr signálu a šumu měření
ToF	Time of Flight

Úvod

V současné době hraje důležitou roli téma automatizace výrobních procesů. Díky implementaci automatizace do podniků, jsou limity produktivity práce posouvány za dřívější hranice nepředstavitelného.

Aplikací je efektivně zvyšována produktivita procesů, při které je většinou potřeba dosáhnout nižšího taktu linky a stálého toku materiálu. Také značným přínosem je zlepšování kvality výroby, jež především ovlivňuje spokojenost zákazníka. Dalším pozitivem zavedením automatizace je inovace technologičnosti a následně zisk výhody konkurenceschopnosti na trhu nabídek. Z těchto informací lze usoudit, že automatizace zasahuje do všech oblastí procesu firmy, jako je výroba, technologie, a dokonce i logistika celé společnosti, a to v jakémkoliv odvětví průmyslu.

Už od počátků jedním z cílů automatizace je nahrazení jednotvárné lidské činnosti robotizací. Většina firem přechází na možnost instalace průmyslového robota na pracoviště za účelem vzrůstu efektivity a zisku rozšíření obzoru výroby. Příčinou tohoto profitu jsou výhody robota, jako je rychlost a omezení zmetkovitosti vinnou lidské nepřesnosti.

Cílem práce je přiblížení se k zmiňované automatizaci, která bude zpestřená uplatněním 3D Vision systému. Kamerové snímací systémy jsou dnes velmi často instalovány do výrobních procesů, aby bylo možno implementovat systém AI (Artificial Intelligence = umělá inteligence). Umělá inteligence přinesla rozvoj průmyslu, u kterého lze za pomoci kamerových snímacích systémů precizně detekovat různé zmetkovitosti, diagnostikovat předmět nebo i vytvářet rozhodnutí příštího úkonu.

Práce je rozložena na hlavní kapitoly, které jsou doprovázeny podkapitolami. Jedno z hlavních témat teoretické části práce je automatizace. V této kapitole jsou zmíněny pojmy, jako jsou například robotizace, druhy automatizace, výrobní proces aj. Další zajímavou částí teorie je podkapitola zahrnující průmyslové roboty, ve které se lze dozvědět jejich definici, využití a typy pro implementaci. Následně je navázáno téma zabývající se moderní vizualizací pomocí 3D kamer a jejich potenciálu pro využití ve výrobě. Obsah kapitoly je například základní principy 3D Vision systémů a vysvětlení důležitých parametrů pro výběr vhodné varianty pro specifickou implementaci. Následně zmíněná teorie je použita v praktické části práce. První kapitola praktické části je zaměřena na téma analýza aktuálního stavu pracoviště. V této kapitole je rozebráno pracoviště, pro které je potřeba vytvořit zautomatizovanou verzi. Další zajímavou částí je kapitola zahrnující řešení návrhu zautomatizované verze pracoviště, které následně bylo implementováno ve společnosti. Zajímavou podkapitolou této části je výběr jednotlivých prvků pracoviště a vysvětlení jejich podstaty integrace. Následně je navázána část zabývající se optimalizací zautomatizovaného pracoviště k dosažení maximální spokojenosti zákazníka. Obsahem kapitoly je například kalibrace a nastavení integrovaného 3D Vision systémů a vysvětlení důležitých operací prováděné samotnou kamerou. Závěrem bakalářské práce je kapitola vyhodnocující implementované pracoviště z ekonomického hlediska a dle přínosů aplikace.

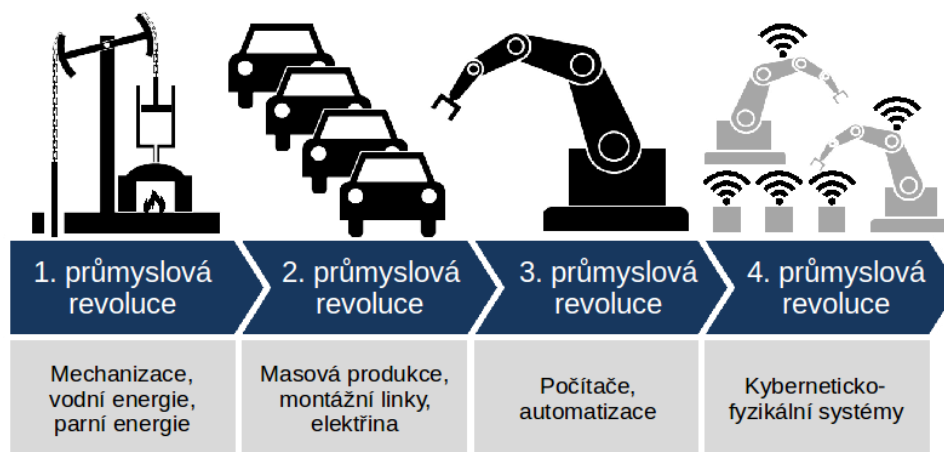
1 Automatizace výroby

K pochopení práce je nezbytně nutné, aby bylo objasněno, co je vlastně zahrnuto pod pojmem automatizace.

Vývoj automatizace je velmi přesně znázorněn na schématickém obrázku (viz Obrázek 1). Kde lze vidět, že základním kamenem byl zrod 3. průmyslové revoluce v druhé polovině 20. století, kdy byl sestrojen první programovatelný logický automat. Od této doby se na trhu objevují názvy těchto automatů jako PLC (Programmable Logic Controller). [1]

Iničiativa automatizace není pouhým nahrazením monotónní lidské činnosti zmiňovanými automaty, ale i složitější změny v systémech průmyslu, které přináší mnoho výhod do celkové struktury průmyslu. [1, 2]

Lze tedy říct, že automatizace přinesla komplexní vliv na celosvětový průmysl a trh společností. Rapidním vývojem automatizace a exponenciálně rostoucím uplatněním byl průmysl znovu modernizován. Díky těmto reakcím se automatizace stala činitelem dění zrodu 4. průmyslové revoluce, která je dnes známá jako Industry 4.0. [1]



Obrázek 1 - Průmyslové revoluce [3]

Protože je automatizace důležitou součástí Průmyslu 4.0, tak nepojednává čistě jen o zautomatizování a optimalizaci výrobních strojů, ale i prvků zahrnuté k výrobě produktu. V důsledku toho se v této práci řeší výrobní úsek, ve kterém jsou definované stroje a potřebné nástroje. V této podkapitole bude tedy rozvedena automatizace výroby včetně jednotlivých rozdělení automatizace výroby.

Součástí automatizace výroby mohou být například požity k manipulaci dopravníky a roboty vybavené potenciálními komponenty jako jsou snímací senzory a systémy vidění. Dalším předmětem řešení je samotný výrobek, jak z pohledu Industry 4.0, tak i automatizace, tím pádem je zapotřebí určit zautomatizovaný vstup materiálu a jeho identifikaci a finální výrobek zaznamenat do celkové databáze firmy, aby nevznikl kolaps systému. [4]

Dodržení zvyšujících se nároků zákazníka na výrobní společnosti je nezbytné k udržení pozice na trhu vůči konkurenčním firmám. Proto většina firem lpí na flexibilitu produktivity, aby dokázala manipulovat s vývojem jejich produktů. Tuto výhodu jim přináší zavedení automatizace do výrobních procesů. S rostoucími nároky zákazníka na stav produktů vznikají nevhodné nedostatky v systémech společnosti. Kvůli snaze udržet si technologičnost dochází k nedostatku kvalifikovaných pracovníků, tím i stoupají náklady na pracovní sílu, pro kterou

musí být striktně dodrženy požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost. Tyto spory systém automatizace ve většině případů dokáže zafixovat a odstranit. [5]

Automatizace výrobních systémů může probíhat v různých oblastech průmyslu a každý projekt automatizace je unikátní. Při návrhu zavedení automatizace je důležité správně rozvrhnout pracoviště a následně optimalizovat jeho průběh. U moderních výrobních řetězců se mohou objevovat podměty podle úrovně zautomatizování. Lze transformovat celou výrobní linku vybavenou softwarem, či pouze výrobní buňku, anebo automatizovat pouze umístěním průmyslového robota na pracoviště. Složitost automatizace závisí na aspektech vývoje firmy, do kterých velmi silně zasahuje finanční stránka investice, návratnost a cyklus produktu. Proto se automatizace rozděluje do několika kategorií, podle kterých se rozhoduje druh implementace prvků automatizace. [5]

1.1 Rozdělení automatizace

Automatizaci lze rozdělit podle několika podskupin, které objasňují typ a stupeň automatizace. Rozdělení není vždy striktně dané kvůli specifikacím, které se mezi sebou proplétají a souvisí. [6]

1.1.1 Rozdělení automatizace dle oblasti zaměření procesu

Prvním aspektem pro rozdělení je určení oblasti zaměření dle typu procesu na automatizaci výrobní a automatizaci nevýrobních procesů. [6]

Automatizace výrobních procesů

Výrobní proces je definován jako souvislý postup, při kterém dochází k přeměně vstupního materiálu na finální výrobek různými výrobními operacemi. Operacemi je rozuměna činnost konaná dělníky nebo stroji k tvorbě produktu. V logistické terminologii se objevuje definice procesu, která říká, že se jedná o proces, jestliže probíhá tok materiálu, při kterém se transformuje materiál na hodnotný předmět. S výrobním systémem se lze setkat v odvětví těžkého průmyslu neboli hutnictví, strojírenství, také ve stavebním průmyslu atd. [7, 8]

Posloupnost výrobního procesu a zároveň potřebných činností je členěná do několika částí. Transformace, kdy dochází k zpracování materiálu na finální tvar či kvalitu a případné montáži. Dalším krokem je kontrola produktu s normalizovaným a standardizovaným modelem. Zároveň do procesu je zahrnuta doprava, která spočívá v přepravě produktů na potřebnou pozici. [7, 8]

Úsilí automatizace výrobního procesu je zautomatizování výše zmiňovaných částí ke zlepšení efektivity a produktivity celého procesu. Prvky automatizace nejsou jen operace a činnosti, ale i potřebné obslužné systémy. Výstupy automatizace jsou tedy automatizované linky pro pružnou výrobu vybavené autonomními roboty a propojením s průmyslovým řídicím systémem. [2, 6]

Na snímku automatizované linky (viz Obrázek 2) lze vidět implementaci průmyslového robota pro zakládání materiálu do výrobního stroje pro zvýšení efektivity procesu. [9]



Obrázek 2 - Zakládací průmyslový FANUC robot [9]

Implementací automatizace snížíme prvky plýtvání. Druhy plýtvání obecně obsahují časové ztráty kvůli transportu materiálu, přebytečné naskladňování, nadvýroba, zmetkovitost, která může být zaviněna lidskou nepřesností, a jiné. Nejdůležitějším druhem plýtvání ve výrobních procesech je nevyužití potenciálu pracovníka kvůli zatěžování osoby monotónními činnostmi, které efektivněji zvládnou stroje. [8]

Automatizace nevýrobních procesů

Nevýrobní proces je naopak definován jako všechny ostatní procesy, které jsou potřeba k realizaci výroby. Podstatou je, že nevýrobní činnosti nepřidávají procesu přidanou hodnotu a pouze zvyšují celkové náklady. Do nevýrobních procesů jsou zařazeny administrativní, kancelářské práce a služby. Tím jsou také míněny například servisy, výzkumy a další. [7, 8]

Antecedent toho je okruh, co nejvíce minimalizovat, nejlépe po částech eliminovat. Eliminace všech procesů nepřidávající hodnotu není možné, ale lze se k této ideální situaci přiblížit. Bohužel ve většině případů nenastává k standardizaci a automatizaci těchto procesů. Následkem toho společnosti nezvyšují svou efektivitu a ztrácí konkurenceschopnost obchodních subjektů. Proto je nezbytně nutné takovéto plýtvání zamezit a implementovat produkty Industry 4.0, mezi které se řadí i automatizace. [8]

Pro objasnění je vhodné zmínit druhy plýtvání v nevýrobních procesech, které lze poté zefektivnit pomocí optimalizace. Společnosti se obvykle setkávají s přemírou informací, vzniklou předáváním a duplicitou nepotřebných souborů. Výskyt nadbytečného čekání na rozhodnutí a potvrzení, které lze minimalizovat zavedením kontrolních systémů, jako jsou snímače. Dále plýtvání jako u výrobních procesů je nevyužití potenciálu a znalostí pracovníka. [8]

1.1.2 Rozdělení automatizace dle komplexnosti aplikace

Z pohledu komplexnosti lze automatizaci rozdělit na komplexní a částečnou. [6]

Komplexní automatizace

Při propojení všech činitelů dochází k celkové automatizaci výrobního systému, kterému se následně říká automatizovaný komplex. Ideálem komplexní automatizace je snížení a výsledně eliminování lidských činností ve výrobních procesech. Všechna výrobní práce lidí je převzata stroji a poté člověk má pouze roli strategického řízení a plánování. Potenciál pracovníka je soustředěn na administrativní činnost a na revizi automatů. Komplexní automatizace je aplikována v místech, kde je plná automatizace výnosná, stabilní a s vysokým cyklem životnosti procesu. [6]

Částečná automatizace

Jak již z názvu vyplývá, jedná se tedy o zautomatizování pouze části výrobního systému. V praxi většinou společnosti preferují tento typ automatizace, buď kvůli nedostatečným finančním kapacitám pro investici do modernizace, anebo nesjednocení kontextu automatizace s plány podniku. Proto tedy tato skupina nezahrnuje zautomatizování celkového procesu, ale jen jednotlivých prvků, které jsou v danou chvíli pro společnost nejvhodnější ke zvýšení efektivity. [6]

1.1.3 Rozdělení automatizace z pohledu flexibility

Dalším pojetím automatizace je z hlediska pružnosti. Prvotně je důležité určit význam pružnosti ve strojírenství. Pružnost, nebo také jako flexibilita, ve strojírenství pojednává o výrobních soustavách ve výrobních procesech, které splňují jednotlivá kritéria. Prvním kritériem je pružnost stroje. Mezi pružné stroje se řadí modely, které mají snadnou seřiditelnost z pohledu nástroje, přípravků, ustavování, NC programování atd. Následným kritériem je pružnost výrobního procesu, který definuje proces se schopností vyrábět produkty daného sortimentu v různých posloupnostech a měnit sled operací. Lze tedy říci, že procesy jsou multimodální. S touto schopností koresponduje pružnost výrobků, u které je možnost měnit ekonomicky a rychle sortiment výrobků. Z pohledu ekonomiky je možnost ovlivnit i tok výroby, díky kterému lze určit objem výroby. Pružnost rozšíření se stává pozitivitou pružných výrobních soustav, díky možnosti dalšího modulárního rozšíření výrobních soustav. Souhrnně lze říci, že se jedná o výhodný charakter systému umožňující pohotově reagovat na změny požadavků výrobního programu. [10]

Pevná automatizace

Pevná automatizace výrobních systémů je v praxi také známá jako tvrdá automatizace. Užívá se v případech, kde je proces složen z operací určené velkoobjemovou sérií v hromadné výrobě. Jsou tedy aplikovány v linkách jednoúčelové stroje s vysokou produktivitou, ale bez pružnosti regulace či změn typorozměrů výrobků. Do prostředků pevné automatizace se řadí automat, jako jsou NC a CNC výrobní stroje. U těchto automatů stále platí možnost změny operací výroby, ale už není zaručena vysoká úroveň flexibility kvůli časové náročnosti naprogramování změny procesu, která určuje celkovou produktivitu systému svým taktem. [11]

Pružná automatizace

Pružná (flexibilní) automatizace se vyznačuje označením FMS (Flexible Manufacturing System). FMS je charakteristický svou jednoduchostí regulace a změny výrobního programu za pomoci nízkých vstupních nákladů. Proto FMS se ve většině případů automatizace aplikuje do firem s kusovou a malosériovou výrobou, kde je potřeba možnost vyššího stupně flexibility během nižší produktivity procesů. Pro výstavbu pružného systému nebo pouze přeměnu pracoviště na pružné se využívají moderní prostředky, jako jsou automatické manipulátory a průmyslové roboty. Pružné pracoviště vynikají univerzálností robotů a za pomoci automatických manipulátorů svou samostatností při výrobních operacích bez závislosti na lidských úkonech. Téma o průmyslových robotech, které je dnešním trendem na trhu, je v následné kapitole podrobněji rozebráno. [11]

1.2 Průmyslový robot

Robotizace je dnes řazena mezi jedny z nejdůležitějších částí automatizace. Jedná se o souhrnný proces, kdy je na pracoviště implementován průmyslový robot, který přináší mnoho výhod

k zvýšení efektivnosti výroby. Prvotním záměrem pro aplikaci robotizace bylo odstranění repetitivní náročné lidské práce robotickou výkonností. Robotizace přispívá ke kultivaci lidské práce. Osвобоjuje člověka od náročných a nebezpečných prací pro využití lidského potenciálu v tvůrčí práci. [12, 13]

Starší norma International Organisation for Standardisation (ISO) zavedla definici (ISO 8373 Manipulační průmyslové roboty – Slovník) pro průmyslové roboty ve výrobě: „Průmyslový robot je automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci.“ Dnes je adaptace pracoviště průmyslových robotů obohacena i dalším uplatněním ve výrobě. Pracoviště s implementovaným průmyslovým robotem je označováno jako RTP (Robotizované Technologické Pracoviště) a ve vyšších úrovních se vyskytují RTK (Robotizované Technologické Komplexy). [10, 14, 15]

1.2.1 Funkce průmyslových robotů

Prioritní vliv na vznik trendu aplikace robotizace ve výrobních procesech má rostoucí cena lidské práce. Dnešní firmy jsou nakloněny k nahrazení lidských činností robotickou efektivností pro snížení nákladů na výrobu za účelem zvýšení finálního zisku. Bohužel je dnes ve většině případů dávána přednost vysoké kvalitě s nízkou chybovostí před ruční prací. Následkem je ztráta řemesel ve světě. V průmyslech se dosahuje nároků na takty pracovních činností, u kterých není možné, aby je pouhý člověk dokázal splnit. Proto tedy v současných procesech je částečně či plně vyřazena lidská funkce v procesech, kde je tato eliminace přínosná. Požadovaný komfort zákazníkem nastoluje nový řád, kde se vyvaruje přirozené lidské nepřesnosti a nedostatečnosti zavedením automatizace výrobních procesů s prvky robotizace. [10]

Jak již bylo zmíněno, jedním z přínosů je pružnost aplikace robotů a jejich využití ve výrobě. Za pomoci příkazů v ovládacím systému, lze průmyslového robota kdykoliv přenastavit na změnu ve výrobním procesu, která je dána dle poptávky a inovace produktů. Dnešní trh s poptávkou je velice časově proměnlivý, a proto je potřeba konkurenceschopnost a flexibilita výroby, kterou automatizace přináší. Aplikace je výhodná v kusové i velkosériové výrobě. [10]

Klasické průmyslové roboty lze aplikovat v několika operacích výrobního systému dle potřeby úkonů. Kupříkladu pracoviště s lidskou monotónní manipulací s výrobkem je nahrazeno RTP s manipulačním průmyslovým robotem. Oproti klasickým manipulátorům jsou roboty řízené počítačem. Manipulační robot je schopen s výrobkem najíždět přesně a s vysokou rychlostí do cílových pozic s možností vyhýbaní definovaným překážkám v pracovní zóně. Robot je oproti člověku neúnavný a neustále bdělí, takže lze bez odporu tyto naprogramované pohyby neomezeně opakovat se stejnou efektivností. Také není zapotřebí brát ohled, zda hrozí robotu nebezpečí na pracovišti při manipulaci s předmětem kvůli teplotě, nebezpečným látkám či váze předmětu. Tyto úskalí by velice omezovaly a komplikovaly návrh klasického pracoviště s lidskou pracovní silou. Další příklady využití bude rozepsáno v následné podkapitole. [10, 13]

1.2.2 Klasifikace průmyslových robotů

Definice průmyslových robotů se liší z důvodu neustálé inovace technologií robotů, a proto je různě definovaná v odborné literatuře. Průmyslové roboty lze rozřadit podle mnoha kritérií – počtu stupňů volnosti, použitých pohonů, prostředí aplikace, technologie, aj. [15]

Pro výběr typu zařízení robotizace je důležité propočítat ekonomické parametry jako je kupříkladu potřebný kapitál pro investici, návratnost investice a zvýšení produktivity.

Po rozhodnutí do správného typu robotizace se docílí nejen snížení provozních nákladů, zvýšení bezpečnosti na pracovišti a produktivity práce, ale i univerzální výhodu pro pružnou výrobu. [12]

Prvním příkladným kritériem je dělení dle provedení práce: [10, 16]

- **Manipulační** – Průmyslové roboty jsou využívány pro přemísťování a práci s materiálem a součástmi (viz Obrázek 3). Roboty nejčastěji fungují na rychlém principu Pick & Place (Uchop a Polož). Přiřazené úkony pro manipulační roboty je například zakládání a vyjímání ze strojů, balení, vyřazování špatných kusů z dopravníku, testování a měření, polohování dílů atd. Manipulace se řadí mezi nezbytné součásti výroby, a proto je důležité tyto části automatizovat a modernizovat pro ulehčení procesů.



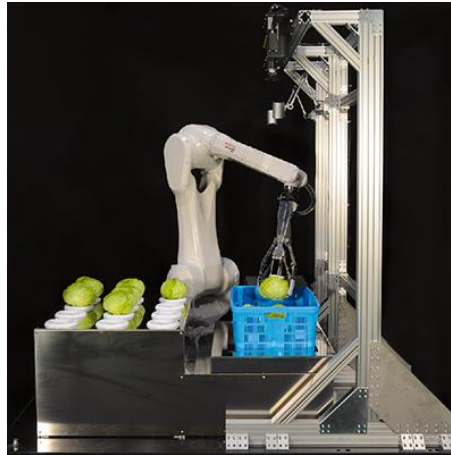
Obrázek 3 - Manipulační robot DR-3iB [17]

- **Technologické** – Do skupiny technologických průmyslových robotů patří roboty zaměřené na povrchové úpravy, svařování (viz Obrázek 4), a i také na montáž. Roboty se liší svým technologickým nástrojem, jako jsou kupříkladu laserové svařovací hlavy, trysky pro povlakování nebo frézovací a brusné hlavy pro finální nebo apretační úpravy. Technologické průmyslové roboty vynikají svou nadlidskou přesností a rychlostí.



Obrázek 4 - Svařovací robot ARC Mate 120iD [18]

- **Speciální** – Aplikace je především v škodlivých prostorech například s radioaktivními částicemi či v toxickém prostředí. Uplatnění speciálních průmyslových robotů je také v potravinářství (viz Obrázek 5), kde je zapotřebí upravit tělo robota pro dodržení hygienických předpisů různými chemickými povlaky či antibakteriálními potahy.



Obrázek 5 - Potravinářský robot M-20iB/25C [19]

- **Univerzální** – Užití jako kombinace ostatních skupin. Roboty jsou multifunkční a vhodný pro pružnější výrobu.

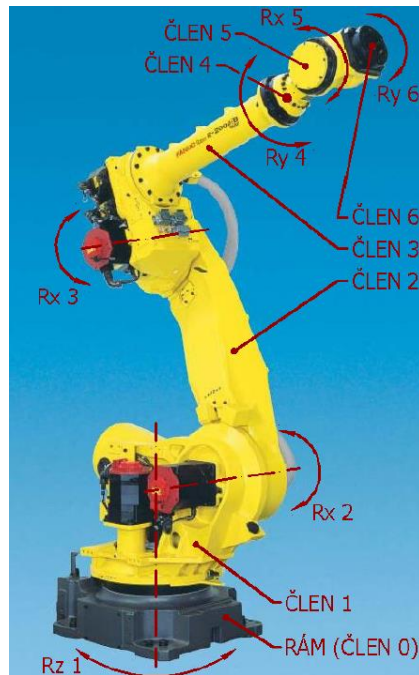
Složitost programu je prioritou pro výběr typu průmyslového robota: [12, 20]

- **Pevný** – Program je stálý bez jakékoliv změny během operace.
- **Proměnlivý** – Programy jsou přepínány či voleny dle potřeby výroby.
- **Kognitivní** – Vytvořené algoritmy umožňují částečně se přiblížit racionálnímu lidskému jednání.

Kinematická struktura složená z kinematických dvojic určuje funkčnost a využití robota. Větší počet stupňů volnosti zvyšují flexibilitu robota. Lidská ruka má 27 stupňů volnosti, ale průmyslový robot nahrazující lidskou činnost většinou 6 stupňů volnosti. Pro polohu a orientaci při manipulaci předmětu ve volném prostoru je dostačující zmiňovaných 6 stupňů volnosti. U specifických požadavků je potřeba i robot s více stupni volnosti, jako je například práce za rohem. [10]

Důvodem toho je nejčastější uplatnění šestiosého kloubového robota. V terminologii průmyslové robotiky jsou jednotlivé klouby označovány jako osy. Každá osa má svůj motorový pohon k zvýšení rychlosti a přesnosti během nájezdů. První osa je umístěna mezi tělem robota a podlahou. Druhá osa slouží k rotaci ramena vůči tělu. Následný třetí otočný kloub je navržen mezi ramenem a paží robota. Na konci paže je kloubově připojeno zápěstí neboli koncový efektor. Osy robota jsou vyobrazeny v schématu robota (viz Obrázek 6). [21]

Všechny zmíněné aspekty musí být zahrnuty při výběru typu průmyslového robota na automatizované pracoviště. Příčinou je rozsáhlá nabídka průmyslových robotů na trhu, a to nejen značkou výrobcem, a tím pádem i kvalitou a cenou robota, ale i typem a vybaveností komponentů. Praktická část práce spolupracuje s firmou ARC-robotics s.r.o, která dodává zákazníkům pouze implementaci robotů od výrobců značky FANUC, proto tedy v moji práci jsou reprezentovány průmyslové roboty od výrobce FANUC.



Obrázek 6 - Popis kinematického řetězce robota [15]

1.2.3 Typy průmyslových FANUC robotů

Dle katalogu dodavatele průmyslových robotů výrobce FANUC je vhodné rozdělit roboty dle konstrukčního hlediska.

Kloubový robot

Kloubový robot (viz Obrázek 7) jsou nejrozšířenějším typem aplikace v průmyslu. Jejich struktura je výjimečná díky posloupnosti rotačních kloubů, která přináší flexibilnější pohyb v prostoru. Robot může být složen ze dvou až deseti a více kloubů, ale nejčastěji jsou kloubové roboty šestiosé. [21–23]



Obrázek 7 - Kloubový FANUC robot LR Mate 200iD/7L [24]

Delta robot

Ve firmách se lze setkat i s variantou průmyslového robota, který svým tvarem připomíná pavouka (viz Obrázek 8). Delta robot je schopný pracovat vysokou rychlostí a přesností. Samotná hmotnost robota je oproti ostatním typům velmi malá, která umožňuje upevnění robota na konstrukci vystavěnou nad pracovištěm. Důležitou strukturou komponent delta robota je

propojení paralelogramů, které jsou připojeny ke společné základně. Vysokorychlostní rovnoběžníkový robot je nejčastěji implementován ve farmaceutickém, potravinářském a elektronickém průmyslu, kde je manipulace s materiálem. [23, 25]



Obrázek 8 - Manipulační Delta robot M-1iA [26]

SCARA robot

SCARA robot (viz Obrázek 9) neboli přesněji Selective Compliance Assembly Robot Arms jsou specifický svou modularitou a malým půdorysem. Jsou perfektní pro vysokorychlostní montáž a jemnou manipulaci, protože SCARA robot vyčnívá svým výkonem i přes malou velikost.[23, 27, 28]

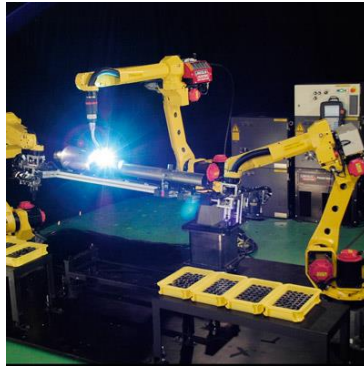


Obrázek 9 - SCARA Robot SR-3iA [29]

Následné rozdělení je dle aplikace.

Svařovací robot

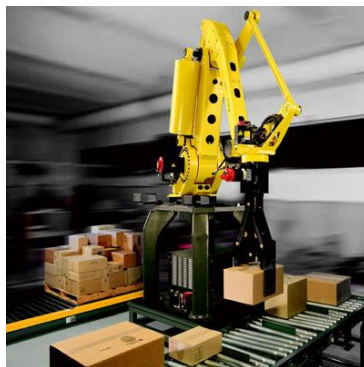
Díky vysoké přesnosti pohybu svařovací roboty (viz Obrázek 10) zaručují precizní a bezchybnou kvalitu svaru, a to i náročných podmínkách, kde by hrozilo nebezpečí lidskému pracovník, jako svařování nad hlavou atd. Aplikují se pro vysokorychlostní svařování, řezání, sváření elektrickým obloukem, pájení, a i pro moderní náročné laserové svařování. [23]



Obrázek 10 - Roboty FANUC pro svařování [30]

Paletizační robot

Paletizace je jedna z nejčastějších operací v jakémkoliv průmyslu. Manipulace a skládání palet je fyzicky náročný úkol, který průmyslový robot efektivně splňuje. Průmyslový robot dokáže bez komplikací i manipulovat s komplikovanějším materiálem, jako je například sklo pomocí přísavných hlavic (viz Obrázek 11). Úchopná hlavice nemá problém zvednout materiál o hmotnosti až 2 tuny a nebo několik palet či boxů najednou. [23]



Obrázek 11 - Paletizační FANUC robot [31]

Lakovací robot

Automobilový průmysl plně využívá potenciál průmyslových robotů, za účelem zvýšení produktivity a snížení nákladů. Jedním z příkladů je lakování aut (viz Obrázek 12), kde robot dokáže uspořit množství barvy při minimalizování plýtvání a zajistí vysokou kvalitu nátěru. [23]



Obrázek 12 - Lakovací FANUC roboty PaintMate [32]

Kolaborativní robot

V předchozích odstavcích bylo řečeno, že automatizace dnešního průmyslu se snaží nahradit průmyslovým robotem většinu lidských úkonů. Bohužel existují případy, kde průmyslový robot nelze implementovat kvůli složitosti operace, nebo z důvodu nevýhodnosti investice. Proto je tedy zapotřebí aspoň tyto činnosti částečně nahradit ve fázích, kde je robot efektivnější, ale zároveň potřebuje spolupráci člověka. Kvůli vysokým rizikům z hlediska bezpečnosti nelze v těchto případech nasadit obyčejného průmyslového robota. Pro zavedení robota na pracoviště, kde musí kolaborovat s člověkem, je použit robot v HRC systému. Tento systém obsahuje takzvané kolaborativní roboty (viz Obrázek 13), zkráceně koboty. Vysoký potenciál využití kobotů je viděn v operacích, kde je za potřebí, jak složitá a kreativní práce člověka, tak i monotónní a fyzicky náročné úkony kobota. [33]



Obrázek 13 - Kolaborativní FANUC robot [34]

Hlavním úkolem kobota je tedy ulehčit práci operátorovi a asistovat. Pro dosažení maximální efektivity implementace kobota je zapotřebí dokonalé souhry člověka s robotem. Při nasazení kobota a pracovníka na jednom pracovišti je využívána fyzická síla a přesnost robota doplňující inteligenci a citem dělníka. Tyto pozitiva přinášejí do průmyslu vysokou kvalitu produktů. [33]

V závěru této podkapitoly je vhodné zmínit, že klasické průmyslové roboty nelze nahradit kolaborativními roboty, ale využívání kobotů v průmyslu je vhodné brát jako rozšíření možností robotizace výroby. Proto je tedy nutné při návrhu pracoviště nedržet se pouze trendů na trhu, ale učinit analýzu, zda je daný typ robota výhodný. [35]

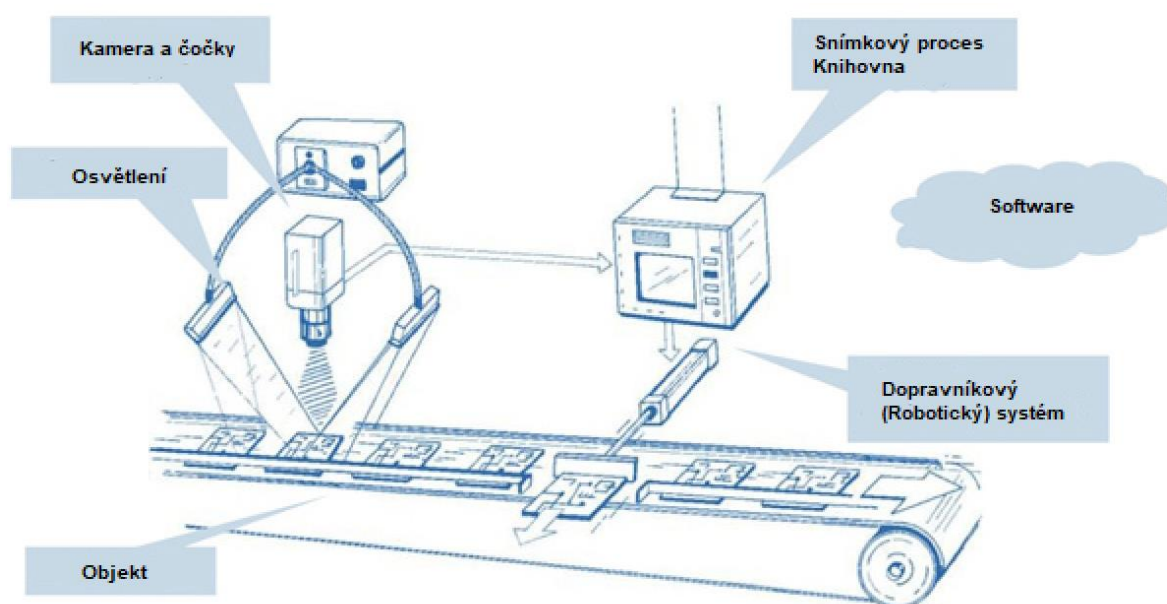
V praktické části práce bude využito průmyslového robota společně s 3D Vision systémem. Z toho důvodu se následující kapitola soustředí na 3D Vision systémy.

2 Vision systémy

Dnešní technologie a systémy výroby jsou čím dál více závislé na vazbách s pracovním prostředím a s výrobním materiálem. Firmy se především zaměřují na modernizaci a automatizaci vizuálních vazeb pomocí kamer neboli pomocí Vision systému, což přináší zvýšení efektivity výroby společnosti. [36–38]

2.1 Systém strojového vidění

Systém strojového vidění (viz Obrázek 14), anglicky psané v odborné literatuře jako Machine Vision System (MVS), je technologie umožňující počítači analyzovat a vyhodnocovat statické nebo pohyblivé obrazy za pomoci digitálních kamer, koncového hardwaru a softwaru. [38]



Obrázek 14 - Princip strojového vidění [36]

Jedna ze zahraničních definic strojového vidění, přesněji definice podle Robotics Tomorrow, zní: „Strojové vidění je schopnost počítače vnímat prostředí. Jedna nebo více videokamer se používá s analogově-digitální konverzí a digitálním zpracováním signálu. Obrazová data jsou odesílána do počítače nebo řídicí jednotky robota.“ [36]

Kamery též jmenované jako snímače obrazu získávají obrazová data z pracoviště o aktuálním stavu sledovaného předmětu. Následně dochází ke sdílení a interpretování obrazových dat na informace pro počítačové vidění. Počítačové vidění je pojem popisující technologie, pomocí kterých počítač digitalizuje obraz, zpracovává sdílená data a vyhodnotí následnou akci potřebnou dle zaznamenaného stavu předmětu. [36, 37]

Uplatnění strojového vidění se velmi uchytilo na trhu a dnes aplikaci vidění je čím dál častější v průmyslu. Využívá se především pro vizuální kontrolu materiálu, rozpoznávání a analýzu řešených objektů. Dalším využitím je implementace strojové vidění na průmyslového robota, aby se dokázal lépe orientovat v prostoru pracoviště a nedošlo ke kolizi pohybu. Integrace strojního vidění nemusí být jen na pracovištích, ale lze se s ním setkat i v automatizaci logistiky a nevýrobních procesů, jako je například ověření podpisů dokumentů či kontrola pravosti měny.

Během modernizace a automatizace k zavedení Industry 4.0 se často využívají strojové vidění pro správu zásob pomocí čtení čárových kódů materiálu. [36]

2.2 Princip systému strojového vidění

Princip systémového vidění je založen na posloupnosti základních součástí, které navzájem spolupracují a komunikují. Mezi nezbytné komponenty lze zařadit například kameru, která má za úkol zachytit snímek sledovaného objektu. Velký vliv na kvalitu snímku nemá jen typ samotné kamery, ale i osvětlení. Osvětlení je potřeba k lepšímu rozpoznání vlastností sledovaného předmětu, tak aby vynikly a nedocházelo ke zkreslení tvaru objektu kvůli špatnému lomu světla či překrytí stínem. Kamera je vybavena senzorem, který konvertuje snímané světlo do digitálního obrazu, který je sdílen s procesorem k analýze. Dochází k takzvané digitalizaci obrazu pro možnost sdílení informace. Analýza je prováděna pomocí předem definovaných algoritmů, které vyhodnotí požadované informace pro potřebné stanovení rozhodnutí. Tento proces je nazýván jako image processing. Komunikace je prováděna buď I/O signálem nebo přenosem dat sériovým připojením do zařízení pomocí digitálních výstupů či digitálního komunikačního rozhraní. Komunikační rozhraní je potřeba pro připojení programovacího zařízení k různým kontrolám a nastavením. Pro dodržení této podmínky je používán počítač typu PC, který komunikuje ve formě MMI (Man-Machine-Interface). Lze i implementovat TV monitor, který přijímá analogový obraz pro nepřetržitou vizualizaci sledovaného objektu. [36, 39, 40]

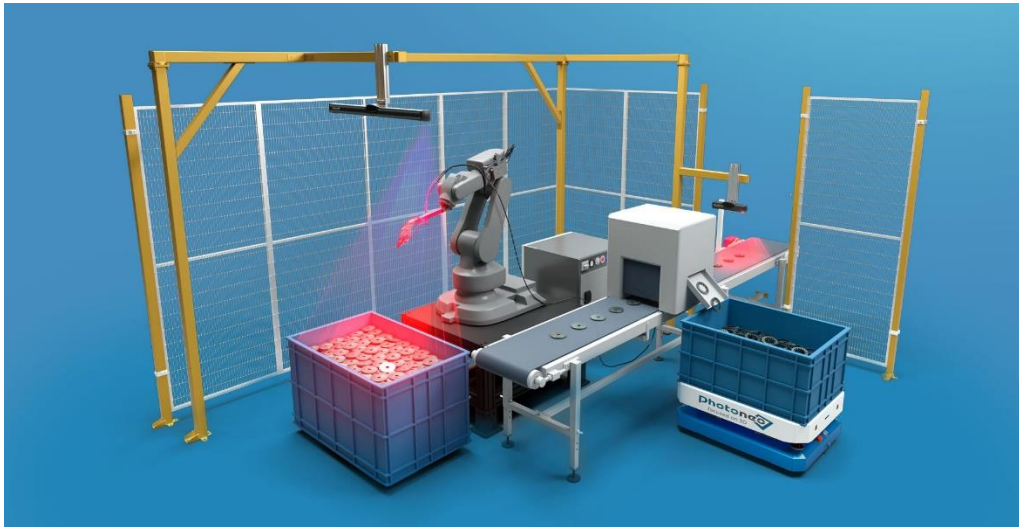
Systém vidění robota lze rozdělit do tří základních kategorií na základě pracovních barev. Prvním typem je binární obrat složený pouze z černobílých obrazů. Dalším typem jsou šedé obrázky. Posledním jsou obrázky strukturované pomocí třech základních barev, kterými jsou červená, zelená a modrá. [36]

Podstatným aspektem při tvorbě snímku je citlivost a rozlišení. Citlivost u strojového vidění je definovaná jako způsobilost vidění i za horších světelných podmínek anebo schopnost rozpoznat impulsy na neviditelných vlnových délkách. Rozlišení určuje pravděpodobnost jednoznačného rozpoznání objektu. Existuje závislost mezi citlivostí a rozlišením, která určuje, že zvýšením citlivosti se sníží rozlišení a opačně, pokud všechny ostatní faktory zůstanou konstantní. [36]

Volbu typu systému strojového vidění ovlivňuje také kritérium, zda je potřeba rozpoznávat či lokalizovat objekt ve dvou nebo třech směrech. Pokud operace nevyžaduje trojrozměrné zaměření, robot si vystačí s dvourozměrným systémem vidění. Protože cena 3D kamery oproti 2D je mnohonásobně vyšší a taková investice je nákladná a zbytečná bez využití potenciálu trojrozměrného navádění. Automatizované pracoviště v praktické části bude obsahovat operace, pro které bude nezbytně nutné třírozměrné zaměření objektů, což znamená, že je zapotřebí implementovat 3D systém strojového vidění. [36]

2.3 Funkce 3D kamery

3D kamery jsou dnes velmi žádané, protože svou integrací vytváří nadstandardní pracoviště s možností snímání nejen 2D rozměrů, ale i třetího rozměru (viz Obrázek 15). Díky třetímu rozměru lze snímaný objekt analyzovat a počítač dokáže určit objem, pozici a skutečný tvar objektu. Tato možnost se velmi využívá u úloh, u kterých není dostačující 2D rozměry a rozpoznání barev. Dalším nejpoužívanějším použitím je integrace na robota pro jeho bezpečný pohyb bez kolize. Díky kamerám robot má přehled o svém okolí a lze následně aplikovat i kolaborativní robot, který dokáže vnímat okolního lidského pracovníka. [41]



Obrázek 15 - Robotizace s 3D Vision systémem [42]

2.4 Parametry 3D Vision systémů

Tato podkapitola je věnována nejdůležitějším parametrům 3D Vision systémům, které určují, zda je výběr řešení vhodný pro danou aplikaci. Možnosti výběru 3D senzorů je trhu mnoho a jednotlivé typy se mohou lišit malými rozdíly, které mohou rozhodovat o integraci splňující většinu požadavků. Podstatným krokem při výběru 3D senzoru je vytvářet kompromisy, aby se návrh přiblížil, co nejvíce k reálné dokonalosti implementace. Jednotlivé parametry jsou rozřazeny do 5 úrovní pro lepší přehled vybavené technologie a nadstandardních možností. [43]

2.4.1 Šířka skenování

Rozsah snímané oblasti kamerou se u 3D kamer se nazývá jako provozní objem kamery, díky svým délkovým škálám ve třech směrech XYZ. Provozní objem se velmi liší dle úlohy aplikace. Rozsah ve směrech XY je označován jako zorné pole systému. Zorné pole je vcelku jednoduché rozšířit pomocí integrace širší čočky. Komplikace nastává při snaze o rozšíření ve směru Z, při kterém je obtížné stálé zaostření objektu. Pro rozsah v ose Z je používán pojem hloubka ostrosti. Při zvětšování hloubky ostrosti se musí zmenšovat clona kamery. Zmenšení clony kamery má za následek, že se omezí počet vstupujících fotonů do senzoru, tím pádem se sníží množství zachyceného světla. S tímto problémem si celkem dobře poradí laserové projekční systémy, které jsou schopné dosáhnout velkých a praktických provozních objemů pro robotické aplikace. Proto existují omezení použití typů technologií pro větší hloubkový rozsah. [43]

Je definováno pět kategorií dle rozsahu hloubky ostrosti: [43]

1. Velmi malý: do 50 mm
2. Malý: do 500 mm
3. Střední: do 1 500 mm
4. Velký: až 4 m
5. Velmi velký: až 100 m

2.4.2 Doba sběru a zpracování dat

Jedním z nejdůležitějších vlivů na výkon kamery je zdroj světla. Pro dobrý poměr signálu a šumu měření (SNR nebo S/N) neboli poměr výkonu smysluplného vstupu k výkonu nežádoucího vstupu během měření je potřeba převést co největšího počtu fotonů ze světelného zdroje do formy pixelů. Tento problém může nastat s nedostatečnou dobou pořízení snímku. Další ovlivňujícím aspektem doby zpracování je schopnost zachycení pohyblivých objektů bez zastavení, kterými je například materiál na dopravním pásu či integrovaná kamera na pohyblivém se průmyslovým robotu. Pro aplikaci 3D kamery na pracovištích se snímanými pohyblivými předměty je potřeba parametry úrovně 5 v níže zmíněných kategoriích dle doby pořízení. Pokud by tak nebylo učiněno, skenovaný objekt v pohybu by byl zkraslený, z důvodu nutnosti vytvořit více snímků pro záznam 3D povrchů. Další hlediskem pro volbu typu kamery je rozhodnutí, zda je potřeba okamžitý výsledek snímku nebo bude dostačující dodání vyhodnocení pozdější době. Důležitým poznatkem je, že čím delší dobu pořízení snímku lze nastavit, tím vyšší kvalitu snímku lze získat a naopak. [43, 44]

Rozdělení dle doby pořízení: [43]

1. Velmi vysoká: minuty a více
2. Vysoká: ~5s
3. Střední: ~2s
4. Krátký: ~500 ms
5. Velmi krátká: ~50 ms

Kategorie dle doby zpracování dat mají stejné rozmezí jako kategorie dle doby pořízení: [43]

1. Velmi vysoká: minuty a více
2. Vysoká: ~5s
3. Střední: ~2s
4. Krátký: ~500 ms
5. Velmi krátká: ~50 ms

2.4.3 Rozlišení

Úroveň rozlišení určuje schopnost a pravděpodobnost systému rozpoznat detaily objektu. Vysoké rozlišení kamery je požadováno v případech, kde jsou zkoumány malé 3D tělesa v rámci velkého provozního objemu neboli v pracovním prostoru s rozsahem zorného pole kamery XYZ. Důležitý vliv na rozlišení snímku má množství světla, které dopadá na jednotlivé pixely. S tímto aspektem souvisí pojem vzorkování objektu. Vzorkování objektu říká, že zda je velikost pixelu snímače větší než zaostřený detail, detaily nebudou zachyceny na snímku. Zároveň i platí, pokud je pixel mnohem menší než detail, na snímku nebude detail zřetelný. Tím pádem z tohoto tvrzení vychází, že existuje úzký rozsah velikosti pixelů (pro 3D snímání se také používá výraz voxel, který je 3D ekvivalent 2D pixelu), které musí být alespoň menší než detail. Pro určení této škály velikosti se aplikuje Nyquistův teorém pro digitální vzorkování. V odborné literatuře je pojem vzorkování nahrazován výrazem analogově-digitálním převodem, protože se jedná o převod signálu na číselnou sekvenci. Po analýze těchto všech kritérií bylo zjištěno, že pro zachycení detailnějších objektů na kvalitní snímek je možné získat pomocí šestnáctkrát delší doby vystavení citlivé vrstvy fotografického materiálu působení světla nebo šestnáctkrát silnější světelné zdroje. Konsekvencí tohoto závěru je, že existuje maximální možné rozlišení systémů pracujících v reálném čase. Tím pádem se nejčastěji používá nejnižší dostačující rozlišení pro co nejrychlejší zachycení objektu pro snížení časových ztrát. Některé kamery jsou proto schopny pro různé aplikace se přenastavit na střední či vysoké rozlišení. [43, 45, 46]

5 kategorií podle průměru 3D bodů na měření nebo rozlišení XY: [43]

1. Velmi malý: ~100 000 bodů
2. Malý: ~300 000 bodů (VGA)
3. Střední: ~1 milion bodů
4. Vysoká: ~4 milionů bodů
5. Rozšířené: ~100 milionů bodů

2.4.4 Hloubkové rozlišení

Hloubkové rozlišení systému vidění je označení pro schopnost přesného změření hloubky objektu neboli škála rozměrové přesnosti informace o třírozměrném tělesu. [43]

Hloubkové rozlišení je dělené na: [43]

1. Velmi malý: >10 cm
2. Malý: ~2 cm
3. Střední: ~2 mm
4. Vysoká: ~250 μm
5. Velmi vysoká: ~50 μm

2.4.5 Robustnost

Kamery s vyšší robustností dokážou sdílet vysoce kvalitní data při různých světelných podmínkách. Některým typům kamer stačí pro snímání pouze vnější světlo, mezi které patří sluneční světlo nebo vnitřní osvětlení prostorů pracoviště. Dle doporučení je vhodnější se těmto okolním světlům vyhýbat, protože zvyšují šum měření, který má za následek vzniklé nepřesnosti snímku. Proto je lepší vlastní osvětlení, které svým výkonem velmi ovlivňuje kvalitu snímku, jak bylo popsáno v předchozích odstavcích. [43]

Vnější podmínky pro snímání 3D kamerami jsou tato: [43]

1. Vnitřní aplikace s temnými místnostmi
2. Vnitřní aplikace se stíněným provozním objemem
3. Vnitřní aplikace v místnosti se silnými halogenovými světly a okny z mléčného skla
4. Venkovní aplikace s nepřímým slunečním světlem
5. Venkovní aplikace na přímém slunečním světle

Částečný vliv na robustnost kamery má i druh materiálů snímaného objektu, který může být typu: [43]

1. Difúzní materiály s dobrou texturou – kámen
2. Difúzní materiály – matně lakovaný bílý díl
3. Pololesklé materiály – eloxovaný hliník
4. Lesklé materiály – leštěná ocel
5. Zrcadlové povrchy – chrom

2.4.6 Design

Samotný design kamery ovlivňuje typ aplikace. Mezi tyto parametry se řadí hmotnost a velikost zařízení. V některých případech jsou části kamery nadstandardně upravovány. Například tělo zařízení může být vyrobeno z uhlíkových vláken pro získání tepelné stability a nízké hmotnosti kvůli speciálním aplikacím jako je v hutnickém průmyslu. [43]

Členění 3D kamer dle hmotnosti: [43]

1. Velmi těžký: >20 kg
2. Těžký: ~ 10 kg
3. Střední: ~ 3 kg
4. Lehký: ~ 1 kg
5. Velmi lehký: ~ 300 g

2.4.7 Poměr cena/výkon

Cena k výkonu je pro zákazníka nejdůležitějším aspektem pro aplikaci. Návratnost investice do vybavení automatizace pracoviště je podstatnou hodnotou při návrhu. Zákazník se může rozhodnout, zda si vybere ekonomičtější, ale ne tak efektivní zařízení, či plně zainvestuje do ideální varianty. Dříve cena 3D kamer byla tak vysoká, že většina firem si nemohla dovolit jejich implementaci, přestože by integrace 3D enormně zvýšila efektivitu jejich pracovišť. Dnes se ale díky vývoji hromadné výroby těchto zařízení cena snížila na přijatelnější částku a proto i poptávka po těchto produktech stále stoupá. Důležitým poznatkem je, že cena odpovídá výkonu kamery a jejím schopnostem. [43]

Technologie 3D vidění lze rozdělit dle ceny takto: [43]

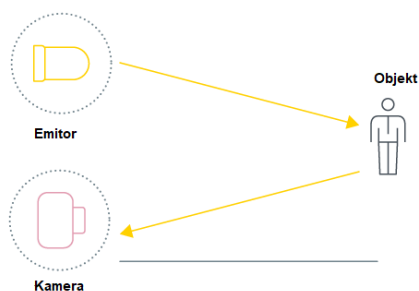
1. Velmi vysoká: ~100 000 EUR
2. Vysoká: ~25 000 EUR
3. Střední: ~10 000 EUR
4. Nízká: ~1000 EUR
5. Velmi nízká: ~200 EUR

2.5 Typy 3D Vision systémů

3D Vision systémy mohou být založené na různých typech technologií, které lze rozdělit do dvou hlavních skupin rozdělení. Skupiny se liší dle principů. [47]

2.5.1 Time of Flight

Metoda ToF (viz Obrázek 16) je založena na principu měření času. Tento princip vyniká tím, že měřený čas určuje dobu, za kterou světelný signál z emitoru dopadá na snímaný objekt a vrátí se zpět do senzoru. U typu ToF není problém s rychlostí skenování, ale s citlivostí výpočtu. Kvůli rychlosti světla je výpočet dopadu velmi citlivý na malé chyby, které mohou způsobit nepřesnosti o velikosti milimetrů až centimetrů. Metoda ToF má nevýhodu v kvalitě rozlišení snímků objektu, protože rozlišení je relativně nízké oproti ostatním metodám. 3D kamera pro systémy strojového vidění fungující na principu ToF může využívat dvě různé techniky snímání. První technika ToF využívá vzorkování jednoho nebo několika 3D bodů najednou. Pro získání rozměrových parametru v celém provozním objemu skenování mění polohu či orientaci snímače. Snímání oblasti je druhou technikou ToF. Snímání oblasti ToF vyžaduje integraci speciálního obrazového snímače se schopností měření času pro více měření ve 2D snímku. Data nejsou tak kvalitní jako u první techniky ToF, takže výsledný snímek je s nízkým rozlišením. Ale díky rychlému nahromadění dat je snímání oblasti ToF vhodné pro dynamické aplikace. [47, 48]



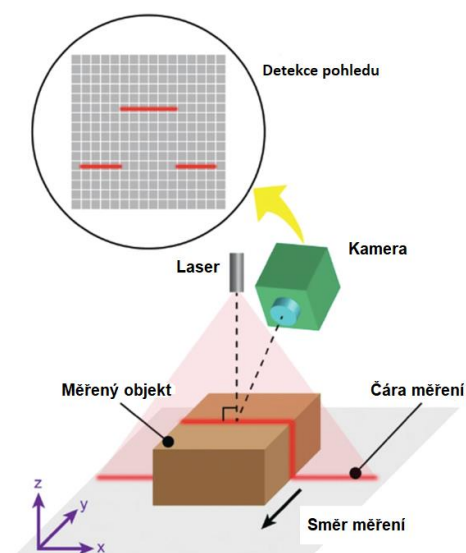
Obrázek 16 - Metoda ToF [49]

2.5.2 Metody založené na triangulaci

Tyto metody využívají vzniklý trojúhelník složený ze základní čáry a kontrolovaného bodu. Změřením úhlu trojúhelníku lze spočítat přesné 3D souřadnice. Naměření a výpočet silně ovlivňují přesnost systému. Metody založené na triangulaci lze rozdělit do podskupin. [47]

Laserová triangulace

Laserová triangulace (viz Obrázek 17) je také označována jako metoda profilometrie. Vychází z principu snímání objektu za pomoci čárového laseru. Čárový laser vytváří přesnou světelnou linii neboli úzký pás světla, kterým projíždí snímáný objekt k jeho vyměření. Kamera musí být namontována pod striktně daným úhlem k laserovému emitoru, ze kterého je vysílána vlna paprsků. Následně kamera zachytává detailní odchylky na laserové linii na základě geometrie objektu. Paprsek laseru se odráží pod různým úhlem dle hloubky měřené 3D plochy. Tato naměřené odchylka úhlu je zachycena na kameře a následně je přepočítán třetí rozměr objektu. Pro vyměření celého objektu je zapotřebí pohyb buď snímáče či objektu, aby čárový laser přejel celou plochu tělesa. [47, 48, 50]



Obrázek 17 - Laserová triangulace [50]

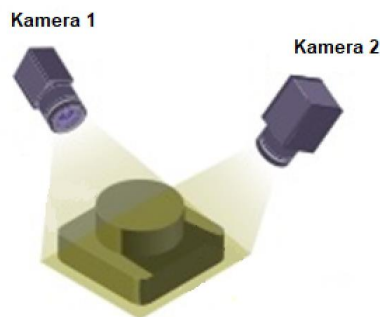
Fotogrammetrie

Systém využívá velkého počtu neregistrovaných 2D snímků k výpočtu 3D objektu. Technologie je založena na textuře objektu, která je snímána několika vzorky. Tato metoda se používá jako alternativa bodové metody ToF. [47]

Stereo vidění

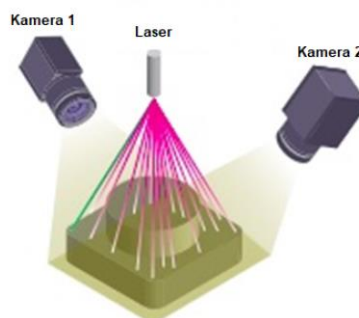
Princip vyhodnocení 3D objektu je založen na výpočtu trojúhelníka za pomoci dvou kamer. Tento systém napodobuje lidské hloubkové vnímání, kde místo očí jsou integrovány kamery. Princip lidského vnímání prostoru se nazývá jako stereo disparita. Při získání dvou 2D snímků je hledána spojitost, ze které pak vychází identifikace trojrozměrného obrazu, který je získán pomocí metody korelace 2D snímků. Důležité vlastnosti pro porovnávání 2D snímků je dobrá textura, detailnost a nejlépe nestejnomyšlnost. Pro stereo vidění je tedy důležité zorné pole snímání. [47, 51]

První verze stereo vidění se nazývá pasivní 3D stereo (viz Obrázek 18), které se aplikuje v úlohách, kde není potřeba měření přesných vzdáleností, ale pouze identifikace a počet objektů. Nevyužívá aplikaci externího světla, ale pouze světlo z prostředí, na kterém je velmi závislý výkon kamery. K zvýšení výkonu kamery se docílí v implementacích s výrazně texturovanými snímanými objekty. [47]



Obrázek 18 - Pasivní stereo vidění [52]

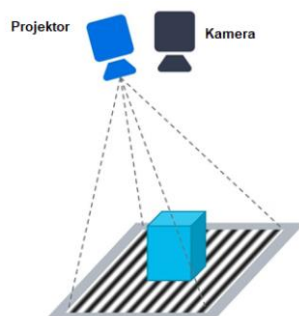
Pro možnost i vyměrování byla vyvinuta metoda aktivního stereo vidění (viz Obrázek 19), která využívá promítání světelné textury na měřený objekt. Pro vytvoření světelné textury je aplikován většinou laser či lze zkombinovat s metodou strukturovaného světla. Zavedením externího světla se minimalizuje problém shody 2D snímků. Kamery jsou velmi náchylné na osvětlení z okolí, které může způsobit šum signálu. Pasivní stereo vidění efektivně funguje v nízké osvětleném prostředí a se slabě strukturovaným objektem. Nevýhoda této metody je nízká robustnost kamery, vyšší cena kvůli integrovanému světlu. Při špatně zvolených podmínkách prostředí, jako je především osvětlení, tak se systém stává klasickým pasivním stereo systémem a ztrácí výhodu investice do integrovaného světla. [47]



Obrázek 19 – Aktivní stereo vidění [52]

Strukturované světlo

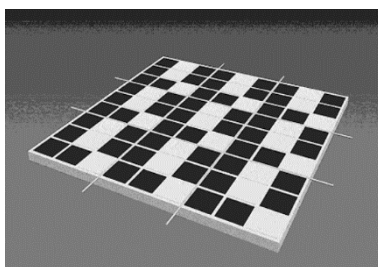
Další triangulační metodou je osvětlení objektu strukturovaným světlem (viz Obrázek 20). Vzniklý výpočetní trojúhelník je mezi projektorem, objektem a kamerou. Algoritmy zahrnují postupnou detekci zakódovaných jednotlivých 3D obrazců v projektoru. Oproti laserové triangulaci není potřeba posunu objektu či snímače, protože tato metoda umožňuje zachytit celý 3D snímek najednou. Tím pádem metoda strukturovaného světla vyniká svou flexibilitou a výkonem. Kolizním bodem při návrhu kamery může být hloubka ostrosti zapříčiněna úzkou clonou. Proto není vhodné tuto metodu používat pro úlohy s většími hloubkovými rozsahy. Modernější technologie umožňují tuto omezení eliminovat za pomoci integrace laseru a filtrů pro blokaci okolního světla. Bohužel velkou překážkou je potřeba statické scény, kdy se nesmí objekt pohybovat při snímání, protože následně se radiálně změní ostrost snímku. [47, 53]



Obrázek 20 - Strukturované světlo [53]

Paralelní strukturované světlo

Tato metoda nemá komplikace se skenováním pohyblivých scén a to s vysokou kvalitou snímků. Technika dokáže zachytit paralelně více zakódovaných obrazců ze světelného projektoru doprovázený laserem než u metody klasického strukturovaného světla. Dynamická scéna je analyzována pouze z jediného snímku snímače (viz Obrázek 21). Technologie zmrazí dynamickou scénu a rozdělí si jeden snímek na více virtuálních snímků, které následně zpracovává. Paralelní strukturované světlo je moderní technologií, která se dnes využívá pro 3D kamery s nejvyšším rozlišením a nepřesnějším skenováním dynamické scény. [47, 54]



Obrázek 21 - Paralelní strukturované světlo [54]

Jak již bylo řečeno, při výběru jednotlivých typů 3D kamer s integrovanou metodikou snímání pro aplikaci systémů strojového vidění je zapotřebí promyslet všechny potřebná hlediska pro správnou implementaci k dosažení co největší efektivity a produktivity za vhodné investice. Všechny tyto aspekty budou v praktické části projednávány pro odůvodnění aplikace konkrétního typu 3D Vision systému.

3 Analýza aktuálního stavu pracoviště pro implementaci

Obsahem této kapitoly je přiblížení se k aktuálnímu stavu pracoviště, který je základním kamenem návrhu pracoviště, jenž má být zautomatizovanou variantou předchozí verze.

Z uvedené teoretické části práce popsané v předchozích dvou kapitolách byly využity důležité informace pro vytvoření a řešení praktické části.

Praktická část práce probíhala na pracovišti ve společnosti DAIKIN. Nyní budou společnost krátce představena.

3.1 DAIKIN

Společnost DAIKIN Industries Czech Republic s. r. o., (viz Obrázek 22), dále již v práci jen jako DAIKIN, je známá díky své kvalitní práci v oblasti výroby klimatizačních jednotek. Přímo v Plzni už od roku 2004 vyrábí jednotky pro domácnosti. Značce výrobce DAIKIN se přiřazuje japonský původ, ale dnes je evropská centrála v Belgii. Plzeňská pobočka také komunikuje s obchodním sídlem, které je vystavěno v Praze. [55]



Obrázek 22 - Výrobní závod DAIKIN, Plzeň [56]

V následné tabulce (viz Tabulka 1) jsou zmíněny základní informace o výrobním závodu dle oficiálních stránek samotné společnosti DAIKIN:

Tabulka 1 - Základní informace o DAIKIN, Plzeň [55]

Základní informace – DAIKIN	
Název společnosti:	Daikin Industries Czech Republic s. r. o.
Sídlo:	U Nové Hospody 1/1155, 301 00 Plzeň
Jednatel:	Hiraoka Yasuto
Kapitál:	1 860 milionů Kč
Celková rozloha:	117 445 m ²
Společníci:	Daikin Europe N.V. (Oostende, Belgie)
Počet zaměstnanců:	cca 2 300
Počátek výroby:	29.09.2004
Výrobky:	Pokojevá tepelná čerpadla
Roční produkce:	1 500 000 tepelných čerpadel

3.2 Neautomatizované pracoviště pro praktickou část

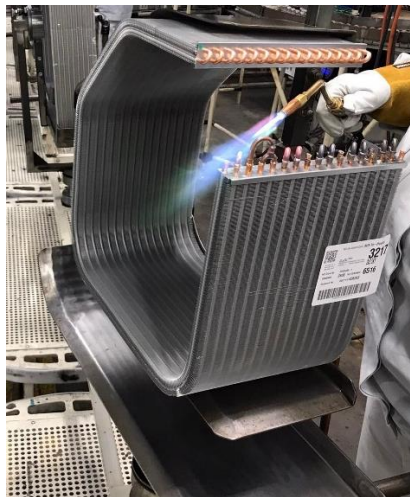
Výrobní linka ve společnosti DAIKIN, na kterou se práce soustředí z pohledu automatizace jednoho pracoviště, je zaměřena na výrobu tepelných výměníků, které jsou součástí tepelného

čerpadla pro domácnosti. Konkrétní pracoviště, které bude i následně vytvořeno v automatizované verzi do již vystavěných prostor společnosti DAIKIN, obsahuje řetězené operace, u kterých je výsledným výstupem výměník naplněný dusíkem.

V následných podkapitolách jsou přiblíženy důležité informace a poznatky, které jsou podstatné pro pochopení návrhu zastupující hlavní problematiku praktické části práce.

3.2.1 Výstupní produkt

Hlavní podstatou pracoviště je vytvoření sledu operací pro naplnění tepelného výměníku dusíkem. Důvod plnění dusíkem spočívá v tom, že při následném pájení kolen (viz Obrázek 23) dusík zlepšuje vlastnosti prostředí pájení a nedochází ke vzniku nečistot v pájeném svaru, což zlepšuje pevnostní vlastnosti konstrukce. Dusík je vháněn do měděných trubek, které jsou navrženy do spirály pro lepší termodynamické vlastnosti. Jednotlivé přechody jsou zkonstruovány pomocí kolen, které jsou připájené k trubkám, aby byla zachována funkce toku média.



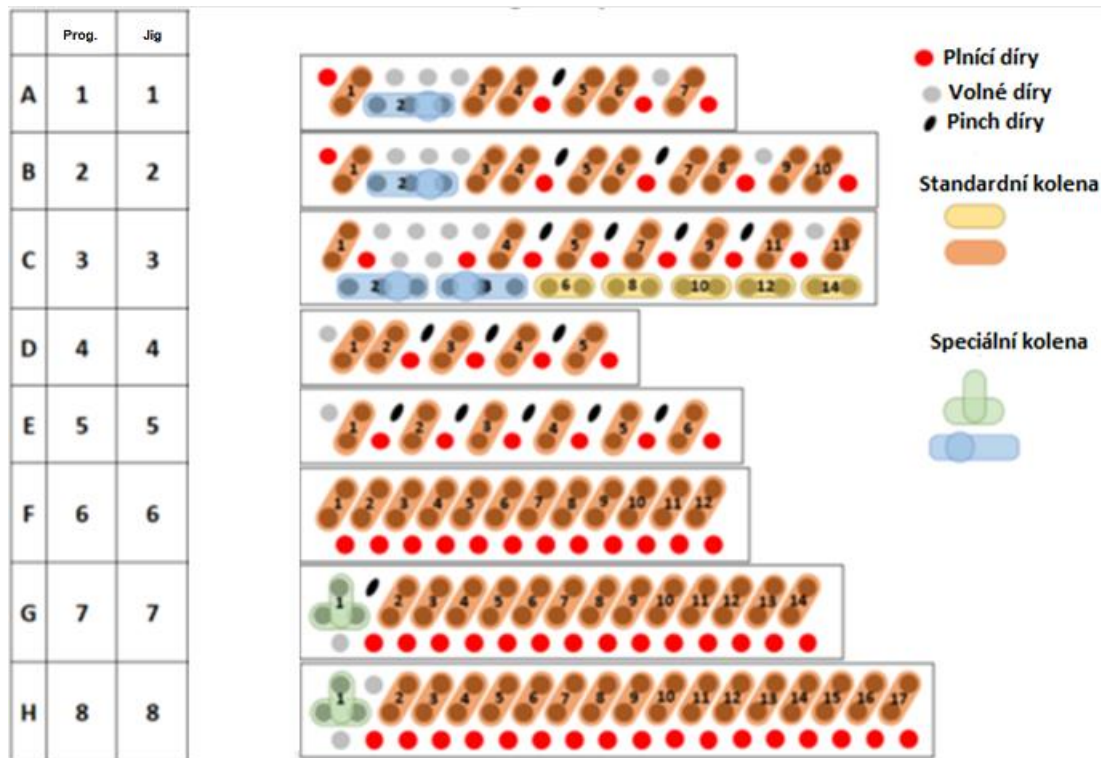
Obrázek 23 – Ruční pájení kolen

Na pracoviště vstupuje osm druhů výměníků označovány abecedně od A do H. Jednotlivé typy tepelných výměníků se od sebe neliší pouze svou velikostí, ale především počtem pájených kolen, plnicích děr a pinchů. Jako pinch jsou označovány tvarově upravené trubky. Zmáčknuté trubky zlepšují vlastnosti plnění a neřadí se mezi plnicí díry.

Jednotlivé typy výměníku jsou vyobrazeny v příloze č. 1, která obsahuje schéma jednotlivých typů výměníku. Ze schématu lze poznat, jak se typy od sebe liší jak rozměrově, tak i různorodostí systému plnění. V tabulce tedy je obsažen pohled na jednotlivé typy dle označení a především snímek otvorů, které jsou velmi důležité pro operace prováděné na pracovišti.

Důsledkem různorodých typů výměníků nejsou operace shodné pro každý typ. Tím pádem systém operací musí být flexibilní pro jednotlivé typy vstupních výměníků, které nevstupují periodicky, ale náhodně. Příčinou této problematiky jsou data, které neobsahují předběžnou informaci, jaký výměník bude plněn. Tato informace je získána až v momentu příjezdu výměníku na pracoviště. Tím pádem na pracovišti dochází k procesu rozhodování, který bude vysvětlen v následných kapitolách.

Jak již bylo zmíněno, systémy plnění se rozdělují dle typu výměníku. Důležitými identifikačními informacemi výměníku je, kolik děr bylo navrženo k plnění daného typu a jaké kolena musí být nasazena. Pro lepší přehled je přiloženo schéma jednotlivých plnicích systému dle typu výměníku (viz Obrázek 24).



Obrázek 24 - Schéma plnicích systémů výměníku

V schématu jsou plnicí díry, které jsou důležité pro konstrukci plnicích přípravků, vyobrazeny červeně. Přiřazené kolena se liší dle svého tvaru a rozměru, proto jsou rozdělena do čtyř barev a označeny pod názvem „Standardní kolena“ a velmi specifická kolena jako „Speciální kolena“.

Dodržení jednotlivých prvků dle schématu je velmi důležité nejen pro operace následného pracoviště pájení, ale také pro celkovou funkčnost výměníků. Proto pro zachování nejvyšší kvality výrobků je striktně dohlíženo a nastaveno vysokých nároků na kontrolu těchto prvků.

Pro možnost analyzovat aktuální stav pracoviště, je potřeba provést rozbor jednotlivých operací prováděných na pracovišti ke zjištění jednotlivých nedostatků, prostojů a prvků plýtvání. V následné podkapitole jsou tyto operace důkladněji rozepsány a schematicky vyobrazeny.

3.2.2 Operace neautomatizovaného pracoviště

Pro získání výstupu ve formě tepelného výměníku naplněného dusíkem, který je následně vstupem pro další pracoviště výrobní linky, jsou nyní prováděny operace v určité posloupnosti.

V současné době je přesun tepelných výměníků v rámci linky řešen pomocí vozíků vedených ve středové koleji, jak je znázorněno na fotografii (viz Obrázek 25). Operátor následně připraví tepelný výměník do pozice potřebné pro správné plnění dusíkem.

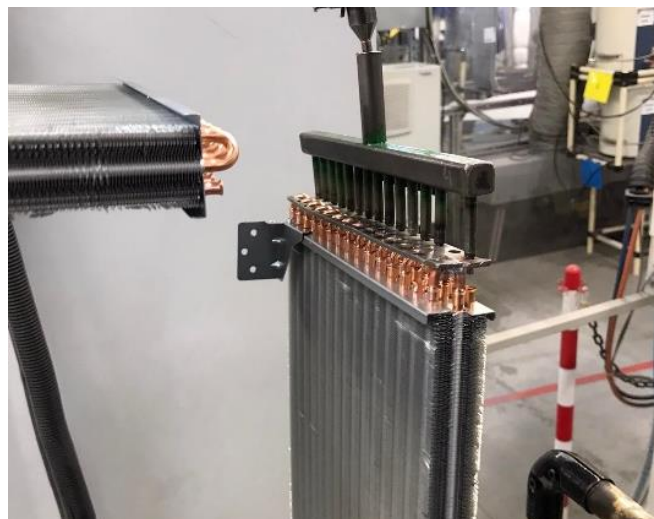
Poté operátor provede kontrolu, zda je aktuální výměník určen pro plnění, pomocí ID čtečky. Pokud je typ správný přechází do následné operace, jinak je vyřazen mezi vadné kusy. Následnou operací je další kontrola, ale tentokrát technická, zda je možné tepelný výměník naplnit. Tím pádem operátor musí zkontrolovat, zda jsou všechny kolena správně na pozici a všechny díry a pinche v pořádku. Jestliže tyto podmínky nejsou splněny, operátor má možnost tepelný výměník ručně upravit pro dosažení korektnosti, jinak je výměník vyřazen mezi neopravitelné defekty. V případě že výměník je akceptovatelný pro plnění, operátor musí nasadit správný přípravek s plnicími nastavci dle typu výměníku. Teprve v tento moment

přichází operace plnění, kdy nástavce jsou ručně vloženy do plnicích děr (viz Obrázek 26) a následně je spuštěno vthánění dusíku do spirály výměníku.



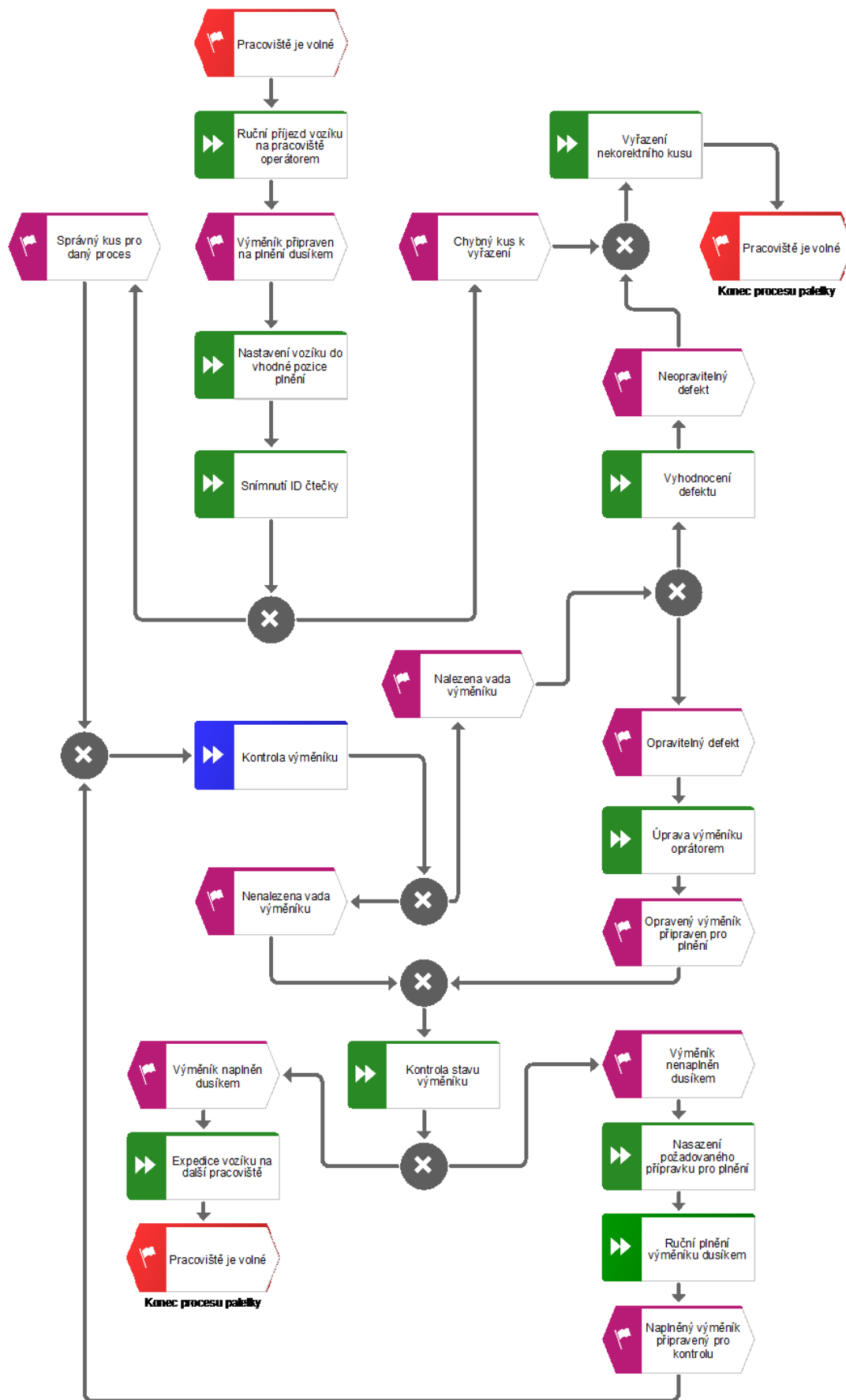
Obrázek 25 - Dopravování tepelného výměníku na pracoviště pro plnění dusíkem

V závěru operátor zkontroluje, zda došlo k řádnému naplnění a nevznikly nežádoucí defekty na výměníku, jako je například poškození plnicích děr. V posledním úkonu je výměník přemístěn na navazující pracoviště pro další postup výroby.



Obrázek 26 - Ruční plnění dusíkem

Všechny tyto operace jsou znázorněny ve vývojovém diagramu (viz Obrázek 27) pro lepší přehled logiky pracoviště.



Obrázek 27 - Vývojový diagram operací operátora

3.2.3 Vyhodnocení aktuálního stavu pracoviště

Při analýze byly důkladně prověřeny jednotlivé kroky operací na neautomatizovaném pracovišti plnění dusíkem. Následně z analýzy byly vytvořeny poznatky, které jsou potřeba k vyhodnocení podstaty změn dle požadavků zákazníka.

Provedením analýzy byly získány tyto údaje, které jsou velmi podstatné pro vytvoření vhodného návrhu budoucího pracoviště.

Přeprava mezi pracovišti

Jak již bylo zmíněno, u aktuální linky je přeprava v rámci celé linky řešena pomocí vozíků vedených ve středové koleji. Konstrukce současného vozíku je uzpůsobena pro jednoduché obslužení a manipulování operátorem. Tento stav zcela neodpovídá potřebám automatizace z pohledu opakovatelnosti pozicování výměníku pro provádění operací pomocí robota či jiného automatu. Logistika tepelného výměníku po lince bude muset být uzpůsobena pro požadavky automatizace, a to nejen z pohledu zafixování výměníku, ale i z pohledu přítomností prvků, díky kterým bude finální nosič výměníku schopen definovat svou pozici na lince, sbírat data o manipulovaném výměníku a poskytovat je všem strojům v rámci výrobní linky.

Lidská práce

Jako zásadní problém aktuálního pracoviště lze označit finanční náročnost lidské práce. Mzdy operátorů jsou pro společnost značně nevýhodné oproti nahrazení lidské práce automatem či průmyslovým robotem. Konsekvencí této problematiky byla snaha minimalizovat úkony potřebné lidský zdroj. S lidskou prací souvisí i pojem zmíněné spolehlivosti z pohledu lidského charakteru. Do skupiny této problematiky byla zaznamenána situace, kdy operátor nedorazil na pracoviště z důvodu nemoci. Tím pádem se plán výroby komplikoval a bylo potřeba vytvořit akutní řešení problému. Proto je vhodné vytvořit návrh, který tuto problematiku minimalizuje pro lehký chod firmy.

Kvůli přítomnosti operátorů na pracovišti musí být dodržováno více prvků bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. I přes tyto opatření hrozí zranění operátorů při provádění potřebných úkonů na pracovišti. Například jedním ze vzniklých zranění na pracovišti bylo přiskřípnutí operátora vozíkem při jeho ručním pozicování. Bohužel s těmito problémy nelze předem počítat a mají za následek zpomalení výroby. Nejpodstatnější bodem úvahy je brát v potaz, že je možné vzniku situace, kdy se může operátor vážně zranit, i přestože to bylo způsobeno vlastní chybou. V tomto případě je potřeba počítat s dlouhodobou neschopností operátora na nemocenské dovolené, pro kterého je potřeba náhrady na pracovišti.

Docházelo také k procentu zmetkovitosti vzniklé nepřesností a chybovostí operátora. U některých kontrolovaných výměníků byly zjištěny defekty vzniklé nárazem přípravku při ručním plnění dusíkem. Operátor během plnění nenastavil výměník do vhodné pozice pro plnění a s přípravkem při snaze naplnit výměník zdeformoval trubky, které musely být následně opravovány. K dalšímu problému docházelo při kontrole nenaplněných výměníků, při které operátor přehlédnul nedostatečnou korektnost pro plnění. Vzniklé defekty jsou ovlivněny specifickým charakterem daného operátora s danou aktuální pracovní morálkou, ale tento aspekt je velmi nepředvídatelný a pro moderní trendy výrobního průmyslu nevhodný, proto společnost se snaží tento aspekt omezit.

Stavové parametry

Při analýze pracoviště byly zjištěny nepříznivé situace, kdy u výměny operátorů mezi pracovními směny došlo k časovým prostojům a chybám kvůli nejednoznačnosti, v jakém

stavu skončila operace výměníku u předchozí směny. Následně bylo tedy potřeba provést kontrolu, zda byly všechny předchozí úkony provedeny.

Se stavovými parametry souvisí i nevýhoda pracoviště, kdy kvůli nízkému stupni modernizace není možné získávat hodnoty o aktuálním stavu tepleného výměníku. Tyto hodnoty jsou potřebné jako vstupy do datových toků společnosti DAIKIN, aby společnost byla schopna provádět analýzy v reálném čase pro vyhodnocení potřebných simulací pracoviště.

3.2.4 Shrnutí poznatků k aktuálnímu pracovišti

Pomocí analýzy bylo zjištěno, že hlavním problémem aktuálního pracoviště (viz Obrázek 28) jsou samotné úkony prováděné lidskou prací. Lidská práce je negativně vnímána jak z ekonomického hlediska, tak i z pohledu výkonnosti. Proto následný návrh je zaměřen na požadované pracoviště s co nejvýhodnějším stupněm automatizace. Pro možnost aplikování stupně automatizace, kterému odpovídají nejlépe robotické zařízení, je potřeba navrhnout jiný typ transportu, než je dosavad použit.

V následné kapitole bude představen návrh založený na poznatcích a informacích získaných z této kapitoly.



Obrázek 28 - Aktuální pracoviště

4 Návrh řešení

Cílem této kapitoly je přiblížit vytvořený návrh nového automatizovaného pracoviště společnosti DAIKIN s aplikací průmyslového robota s nadstandardním příslušenstvím, kterým je 3D Vision systém. Pracoviště je zaměřené na plnění tepelného výměníku dusíkem a jeho kontrolu dle požadované korektnosti. Návrh je zformován dle požadavků vedení společnosti DAIKIN a vychází také z poznatků získaných z předchozí analýzy pracoviště, který je předchůdcem tohoto automatizovaného návrhu.

4.1 Specifikace požadavků

Zmiňovaná společnost DAIKIN se snaží soustředit své projekty na téma Průmysl 4.0, aby byla schopna si udržet dosavadní konkurenceschopnost a výhodnost inovace novodobých technologií. Tudiž obsahem návrhu je zkonstruování pracoviště využívající průmyslového robota, který bude schopen automaticky a efektivně plnit tepelný výměník dusíkem. Poznanky z předchozí kapitoly byly zohledněny v návrhu pro dosažení maximální spokojenosti zákazníka s návrhem.

Pro pracoviště je nutno splnit požadavek, že na pracovišti bude plněno dusíkem osm typů tepelného výměníku. Každý typ se liší referencemi plnění, které musí robot zachytit pro správný nájezd a být vybaven správným přípravkem pro plnění. Důsledkem toho bude potřeba vyvolávat programy dle výrobního plánu určený pro daný typ výměníku.

Podstatným aspektem, který bylo potřeba vzít na vědomí, byla návratnost implementace pracoviště. Návrh se o tento bod velmi opíral, protože potřebná investice do projektu, musí splňovat finanční návratnost dle potřeby zákazníka. Celkový ekonomický propočet projektu je sepsán v kapitole vyhodnocení pracoviště.

Požadavkem zákazníka bylo vytvoření návrhu pracoviště tak, aby bylo možné využít prvek modernizace, kterým je princip IoT. Tím pádem pracoviště musí uvolňovat aktuální data o stavu pracoviště do systému v reálném čase. Aplikací tohoto prvku bude mít zákazník přehled o aktuálním stavu výrobku a možnost vyčítání stavových veličin. Tyto veličiny následně zpracovávají ve formě vstupů do vhodných algoritmů, které vytváří hodnoty pro následnou logiku firmy.

Zmetkovitost výrazně ovlivňuje finální produktivitu a následně i zisk firmy, proto byla v návrhu i tato vlastnost započítána. Při správné aplikaci moderních technologií určené pro kontrolu se zmetkovitost výrazně zmenší než při kontrole lidskými smysly. Nejenže se zvýší jistota správnosti výrobku, ale také se v určitých případech sníží časová náročnost úkonu.

S využitím moderních technologií souvisí také pojem spolehlivost. Prvky automatizace přináší výhodu toho, že zákazníkovi je s velkou pravděpodobností zaručena spolehlivost pracoviště z mnoha pohledů, které jsou získány při nahrazení operátora automatem. Tento poznatek je myšlen tak, že robot nemůže onemocnět či citově ovlivnit výkon produktivity jako je u lidských zdrojů a jeho takt úkonů se časově nemění.

Jak již bylo zmíněno, navržený typ automatizace požaduje jiný typ transportu tepelného výměníku na lince. Robot musí mít jistotu, že dopravník dojedez do potřebné pozice, kde je následně snímán a přepočítáván pro pozicování robota pomocí Vision systému.

4.2 Dodavatel

Společnosti DAIKIN bylo předloženo mnoho návrhů projektu od různých dodavatelů. Vedení nakonec rozhodlo, že dodavatelem zařízení a komponent pracoviště bude vybrána společnost

ARC-Robotics s.r.o., dále jen jako ARC-Robotics, se kterou má společnost dlouhodobé zkušenosti z předchozích projektů.

Firma ARC-Robotics se zaměřuje na zautomatizování pracovišť a komponent potřebné pro správný chod pracoviště. Velkou výhodou je, že ARC-Robotics sídlí také v Plzni na Borských polí jako společnost DAIKIN. Firma ARC-Robotics vyniká svou rozsáhlou zkušeností v oboru robotiky, a tím pádem si udržuje konkurenceschopnost na trhu nabídek. V nabídce služeb společnosti není pouze integrace průmyslového robota na pracoviště, ale všechny prvky celkové koncepce pracoviště. Společnost je tedy schopna zákazníkovi integrovat průmyslového robota na požadovaný plac pracoviště a vytvořit logiku a naprogramování dle potřeb zákazníka. Jak již bylo řečeno, ARC-Robotics dokáže dodat všechny komponenty potřebné pro zautomatizování pracoviště bez potřeby dalších externích firem pro dodání komponent. Velkou prosperitou společnosti je výjimečná spolupráce se známým výrobcem průmyslových robotů, kterým je společnost FANUC. Výhodou vztahu s výrobcem FANUC je stabilní zásobování průmyslových robotů, které lze implementovat do různých odvětví průmyslu jako je strojírenský, elektrotechnický, potravinářský či chemický průmysl. Pro udržení partnerství s touto dominantní robotickou firmou je potřeba dosahovat maximální spokojenosti zákazníka. Proto firma ARC-Robotics zajišťuje vysokou kvalitu a spolehlivost svých projektů pro dané zakázky a investuje do vývoje produktů, které je potřeba pro orientaci v modernizaci. [57]

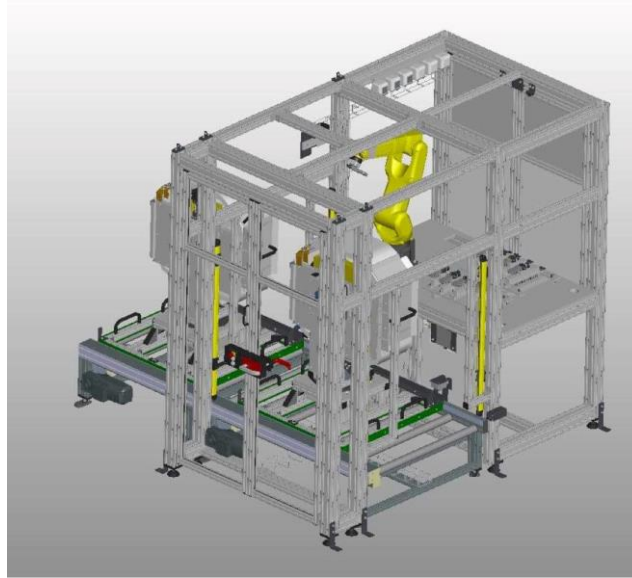
Pro zrealizování projektu, který byl založen na potřebách zautomatizování pracoviště, bylo potřeba kooperace a komunikace mezi zákazníkem a dodavatelem, v tomto případě mezi vedením společností DAIKIN a ARC-Robotics. Bylo potřeba podrobněji projednat, jaké jsou požadavky na pracoviště, jenž byly rozeslány na trh jako výzva dodavatelů k získání zakázky. Po analýze stávajícího pracoviště se předběžně vyhodnotila finanční a časová náročnost projektu, která je přijatelná pro obě strany. Autorem projektu byla vytvořena prvotní představa, jak projekt zrealizovat a jak by dané pracoviště mohlo vypadat se specializovaným vybavením. Následně bylo tedy předáno předběžný technický návrh pracoviště. V tomto návrhu již byl vytvořen 3D model pracoviště pro lepší představu zákazníka. Návrh obsahoval simulaci pohybu průmyslového robota s požadovaným přípravkem pro plnění dusíkem tepelného výměníku na paletce přepravované pomocí dopravníku. Poté bylo potřeba dopravit pracovní buňku robota, která byla vytvořena na míru pro zákazníka.

Společnost ARC-Robotics zaručila, že instalace a potřebné operace k plné implementaci pracoviště bude dokončena do 30 měsíců od zahájení projektu. Před instalací na určené místo haly bude pracoviště ještě odzkoušeno a naprogramováno v externí dílně dodavatele. Účel tohoto kroku je výhoda snížení časové náročnosti naprogramování robota a příslušných zařízení během instalace. Pro danou instalaci je vyhrazen časový interval mezi 5 až 8 týdny. Následné doladění bude probíhat po integraci pracoviště, z důvodu že se počítá s menšími odchylkami vyměření pracoviště. Kvůli striktně potřebným referencím pohybu a plnění je potřeba poupravit programy robota přímo na finálním místě. V případě změny požadavků na průmyslového robota bude dodavatel kontaktován a logiku robota poupraví dle potřeb zákazníka.

V následné podkapitole jsou rozepsány jednotlivé části robotického pracoviště, které jsou poté instalovány na hale.

4.3 Části pracoviště

Návrh pracoviště (viz Obrázek 29) je složen z jednotlivých prvků k dosažení plné funkčnosti a korektnosti pracoviště. Každý prvek má svou funkci a je velmi důležité dodržení jeho pozice a modifikace při montáži dle navržené konstrukce.



Obrázek 29 - Základní pohled na model navrženého pracoviště

Z vyexportovaného pohledu na řezy pracoviště lze poznat, že prostor je uzpůsoben pro maximální využití průmyslového robota s integrací Vision systému (viz Obrázek 30). Pro lepší přehlednost v modelu není zobrazen dopravník pracoviště, který lze vidět v předchozí sestavě (viz Obrázek 29).



Obrázek 30 - Řez modelu navrženého pracoviště

Nejdůležitější prvky implementace jsou v následných odstavcích popsány.

4.3.1 Dopravník

Důležitým bodem při rozhodování bylo rozhodnutí, jaký způsob transportu a manipulace tepelného výměníku mezi pracovišti implementovat. Jak již bylo zmíněno, u aktuální linky je přeprava v rámci celé linky řešena pomocí vozíků vedených ve středové koleji. Konstrukce současného vozíku je uzpůsobena pro jednoduché obslužení a manipulování operátorem. Tento stav zcela neodpovídá potřebám automatizace z pohledu opakovatelnosti pozicování výměníku pro provádění operací pomocí robota či jiného automatu. Logistika tepelného výměníku po lince bude muset být uzpůsobena pro požadavky automatizace, a to nejen

z pohledu zafixování výměníku, ale i přítomností prvků, díky kterým bude finální nosič výměníku schopen definovat svou pozici na lince, sbírat data o manipulovaném výměníku a poskytovat je všem strojům v rámci výrobní linky. Pro splnění těchto požadavků byl způsob transportu navržen na bázi válečkového dopravníku (viz Obrázek 31). Válečkový dopravník je konstruován na principu odvalování výrobku po dopravníku.



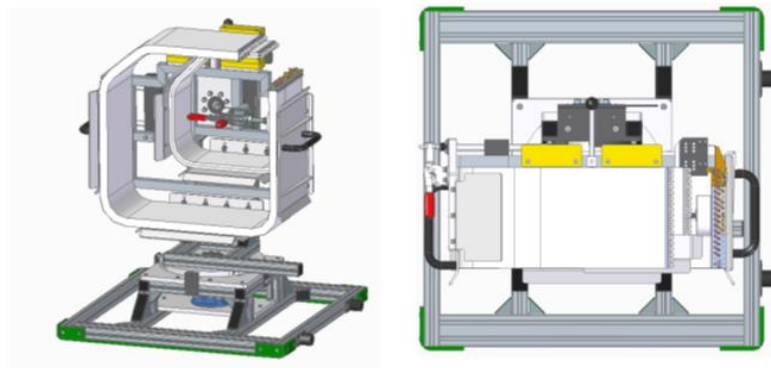
Obrázek 31 - Integrovaný válečkový dopravník

4.3.2 Paletka

Pro lepší transport a pozicování výměníku pro plnění a následné pájení bylo potřeba navrhnout novou transportní konstrukci. Tepelné výměníky se mezi jednotlivými pozicemi na lince budou pohybovat vložené v paletkách, které budou jezdit linkou dokola. Model paletky je vyobrazen níže (viz Obrázek 32)

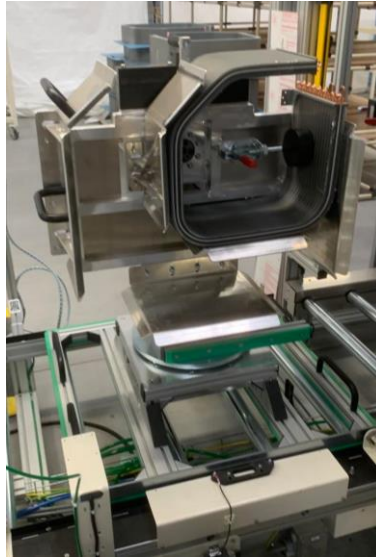
Paletky jsou navrženy z hliníkových profilů s plastovými prvky. Součástí paletky je polohovadlo založené na rotaci ložisek a na pozicích drážek, které umožňují nejen pootočení kolem vertikální osy, ale také kolem horizontální osy paletky.

Hmotnost paletky s nejtěžším výměníkem je cca 110 kg. Proto je potřeba navrhnout manipulátory s dostatečnou nosností. V případě vadného kusu je potřeba kus s paletkou vyřadit z chodu linky, aby zbytečně vadný kus nevstoupil na následné pracoviště a nebyly provedeny nevyžadované operace.



Obrázek 32 - Model paletky

Paletka (viz Obrázek 33) je navržena univerzálně, tím je myšleno, že jeden typ paletky lze použít na všechny typy tepelných výměníků určené pro řešené pracoviště. Pro rozměrové odlišnosti jednotlivých typů výměníku je konstrukce paletky navržena se dvěma podpěrami, které jsou v různých výškách. Menší tepelné výměníky jsou položeny na vyšší podpěru, která má užší úložný prostor. Pro eliminaci vibrací části pro plnění s koleny je výměník pístem přitlačen k tělu paletky. K poškození stěny výměníku pístem je zamezeno bezpečnostním prvkem, kterým je měkký puk pro dotlačení.



Obrázek 33 - Integrovaná paletka s tepelným výměníkem na dopravniku

4.3.3 Robot

Požadavkem zákazníka bylo nahradit práci operátora z aktuálního pracoviště průmyslovým robotem pro dosažení žádoucí efektivity. Důsledkem toho bylo potřeba vybrat vhodnou variantu, která bude obsahovat ideální kombinaci průmyslového robota s přípravky pro dosažení korektního plnění dusíkem. Z teorie je již známo, že existuje mnoho typů průmyslových robotů, který se od sebe liší svým odvětvím implementace a požadavkům zákazníka.





Následně je tedy vhodné vypsát, jaké typy průmyslového robota od výrobce FANUC bylo zohledněno při návrhu pracoviště.

Během rozhodování přicházely k úvahu průmyslové roboty od značky výrobce FANUC, se kterou společnost ARC-Robotics spolupracuje. Roboty musely především proporčně odpovídat rozměrům pracovního prostoru. Dle rozměrového požadavku robota byla vybrána řada FANUC LR Mate. Tyto roboty odpovídají svou velikostí přibližně horní polovině lidského těla, tím pádem je pro druh implementace nejvhodnější. Design robota umožňuje provoz ve stísněných prostorech a možnost montáže na různé typy konstrukce, jako je například strop či stěna. Z hlediska únosnosti robota všechny roboty této kategorie splňují nosnost minimálně 4 kg, což je pro aplikaci dostačující. Velkou výhodou této skupiny robotů je jejich flexibilita, díky vysoké škále druhů implementace a možností integrace nadstandardního vybavení pro speciální pracoviště, jako je například v tomto případě použití umělé inteligence pomocí Vision systému. Přínosem je tedy, že společnost v případě změny může implementovaného robota přemístit na jiné pracoviště či pořídit vyšší výbavu, nebo dokonce ho prodat do jiné firmy díky vysoké poptávce a i možnosti integrace do všech automatizovaných strojů. Důležitou vlastností robota

je uzavřený mechanický design, což znamená, že kabeláž a hadice nejsou vystaveny okolí, ale jsou uschovány v krytu robota. [58] [59]

Řada FANUC LR Mate obsahuje řadu 200, kterou lze následně rozdělit do dalších podskupin a liší se především označením za lomítkem, které určuje zvláštní vlastnosti robota. U řady LR Mate 200iD byly zpočátku vybrány tyto typy, které jsou obsaženy v následné tabulce (viz Tabulka 2) [60]

Tabulka 2 - Zohledněné typy řady FANUC LR Mate 200iD při rozhodování [61]

Typ LR Mate	Počet os	Dosah [mm]	Nosnost [kg]	Speciální vlastnosti	Pohled
200iD	6	717	7	-	
200iD/4S	6	550	4	Krátké rameno	
200iD/7H	5	717	7	Nepříznivé prostředí	
200iD/7L	6	911	7	Dlouhé rameno	

Během plnění nedochází ke kooperaci robota s operátorem, proto není nutné integrovat kobota, který by byl pro tuto aplikaci méně efektivní a především dražší kvůli nadstandardní výbavě robota oproti základnímu typu. Jestliže je použit základní typ průmyslového robota, tak je zapotřebí vytvořit bezpečný prostor, do kterého nesmí vstoupit žádná osoba či nepožadovaný předmět během úkonů a pohybu integrovaného robota. Bezpečný pracovní prostor robota je vytyčen pomocí bezpečnostních prvků, kterými jsou především světelné závory, oplocení a senzory. Tyto prvky jsou v určitých podkapitolách popsány.

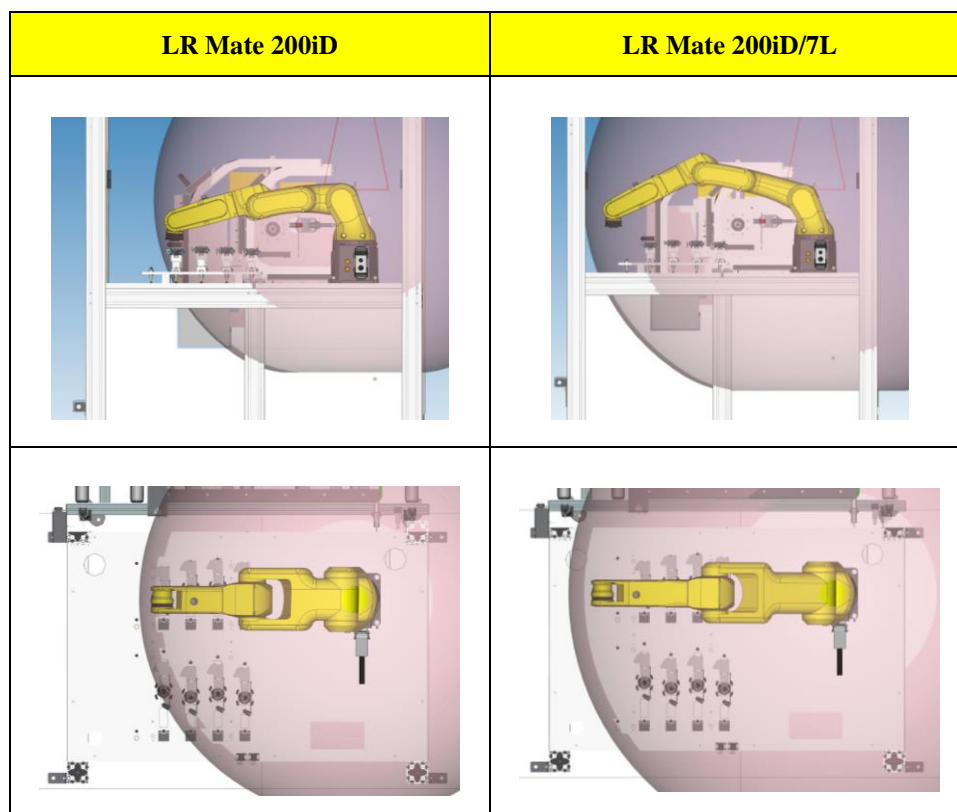
Pro zvolení vhodné varianty robota byla vytvořena tabulka, ve které jsou porovnávány vlastnosti jednotlivých robotů s požadavky na pracoviště.

Tabulka 3 - Porovnávání typů robotů

	<i>Počet os (min 6)</i>	<i>Dosah (min 830 mm)</i>	<i>Konektivita</i>	<i>Body</i>
200iD	+	-	+	2
200iD/4S	+	-	+	2
200iD/7H	-	-	+	1
200iD/7L	+	+	+	3

Pro lepší pochopení požadavku minimálního dosahu robota v pracovním prostoru na pracovišti byly vytvořeny dva porovnávací modely s vyznačeným možným dosahem robota (viz Tabulka 4). Porovnávanými variantami je základní verze LR Mate 200iD a verze s delším ramenem LR Mate 200iD/7L. Ze snímků lze poznat, že základní verze robota svým dosahem není schopna uchopit přípravek pro plnění v levém spodním rohu. Tím pádem je potřeba, aby robot disponoval dosahem minimálně 830mm.

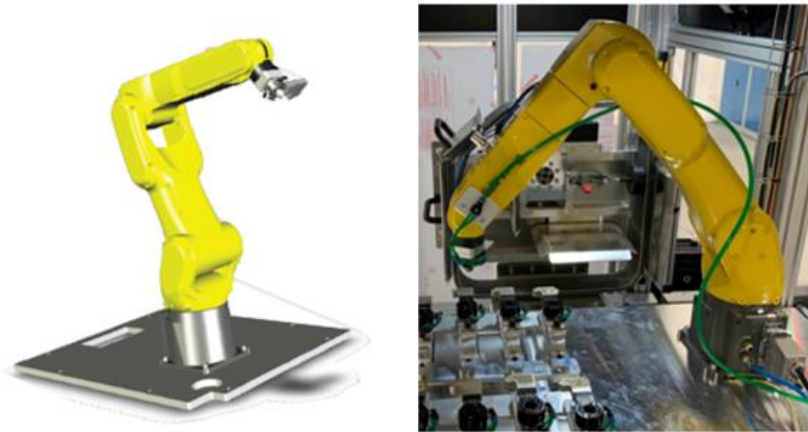
Tabulka 4 - Naznačení dosahu určitých typů robota



V důsledku všech poznatků byla vybrána verze robota s označení FANUC LR Mate 200iD/7L, neboli verze s delším ramenem pro lepší manipulaci a dosah na řešeném pracovišti (viz Obrázek 34).

Parametry zvoleného průmyslového robota FANUC LR Mate 200iD/7L [24]:

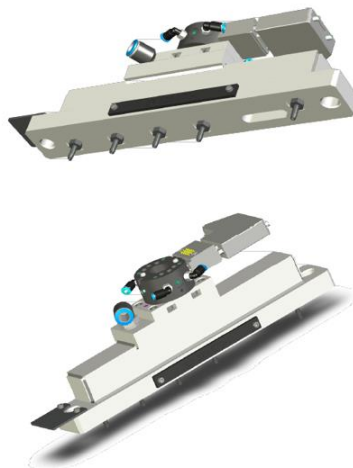
- Nosnost: 7 kg
- Rozsah dosahu: 911 mm
- Počet os: 6
- Přesnost opakování: $\pm 0,02$ mm
- Maximální rychlost pohybu: 4200 mm/s
- Hmotnost: 25 kg
- Průměrná spotřeba energie: 0,5 kW
- Komunikační rozhraní: Ethernet
- Programovací jazyky: FANUC Robotics' TP, KAREL, iRVision



Obrázek 34 - FANUC LR Mate 200iD/7L

4.3.4 Přípravek pro plnění dusíkem

Pro dosažení vyžadovaného naplnění dusíkem tepelného výměníku je integrovaný robot vybaven přípravkem pro plnění (viz Obrázek 35). Tento přípravek pro plnění je také označován v dokumentaci samotné společnosti DAIKIN jako Jig.



Obrázek 35 - Model přípravku pro plnění dusíkem

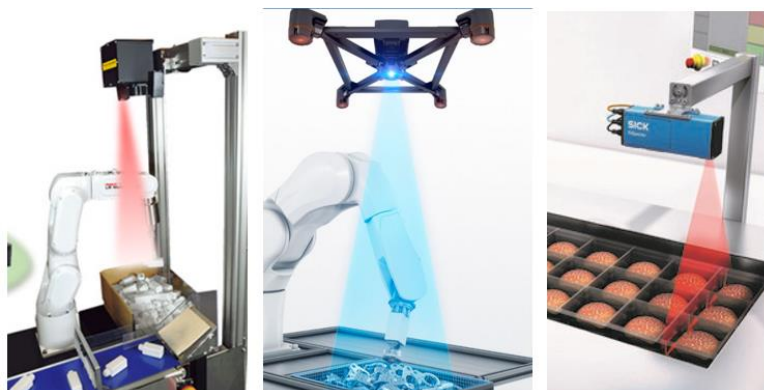
Jigy jsou rozděleny do 8 typů, kdy každý typ odpovídá příslušnému tepelnému dopravníku dle plnicích děr. Rozvržení jednotlivých typů jsou vyobrazena na jednotlivých fotografiích obsažené v tabulce obsažená v příloze č. 2. Jigy jsou vybaveny plnicími nástavci, které jsou vsunuty po příjezdu robota do tepelného výměníku. Do Jigu pomocí hadic, přichycené podél robota, je přiveden dusík ze zásobníku. Materiál vytvářející plochu mezi nástavci je zkonstruován tak, aby při plnění nedošlo k vyskočení kolen z trubky, protože při vyšší tlaku ručního plnění k tomuto incidentu docházelo. Jigy jsou vztlakem přichyceny do hlavy robota, který následně je schopen pomocí svých os nástavce pootáčet dle potřeby pozice tepelného výměníku, která je vyměřena integrovanou kamerou. Při vztlaku vzduchem se spojí konektorové piny přípravku s konektorem robota.

4.3.5 Vision systém

Pro splnění cíle kontroly nasazených kolen, volných vývodů a pinchovaných vývodů a následného naplnění výměníku dusíkem byl navržen robot vybavený 3D Vision systémem.

Tyto vision systémy disponují nejen 3D funkcemi pro navedení robota do správných souřadnic pro korektní naplnění výměníku, ale i standardními funkcemi klasických 2D průmyslových kamerových systémů jako je nalezení určitého tvaru a definování odstínu v nalezené oblasti. Z tohoto důvodu bylo nutné provést výběr jednoho z 3D kamerových systémů.

Při výběru vhodného typu 3D kamery pro aplikaci byly porovnávány tři typy kamer. Základním porovnávacím typem byla kamera od stejného výrobce integrovaného robota, kterou je FANUC 3D Vision Sensor 3DV/400. Jako konkurenční adepti k integraci byly zvoleny kamerové systémy KEYENCE RB 800 a SICK TriSpector 1030. [62–64]



Obrázek 36 - Porovnávané kamery 3DV/400, RB 800, TriSpector 1030 [62–64]

Jedním ze základních parametrů vhodnosti kamerového systému pro danou aplikaci byla pracovní vzdálenost mezi připevněnou kamerou ke konstrukci buňky a procesovaným tepelným výměníkem na paletce. Hodnota požadované pracovní vzdálenosti je minimálně 800 mm.

Dalším zásadním parametrem byla velikost zorného pole kamery, které musí být dostatečně velké nejen dle největšího výměníku, ale musí si také poradit s určitými nepřesnostmi v řádech centimetrů, které jsou zapříčiněné napozicováním paletky pouze v přibližné pozici na základě signálu z indukčního senzoru a následného zastavení válečkového dopravníku.

S přesností vyměřování a následného vyhodnocování velmi souvisí kvalita rozlišení kamery, z tohoto důvodu byl tento parametr také zohledněn při výběru.

Nejdůležitější je samotná možnost komunikace s integrovaným robotem neboli rozhraní kamery, což u těchto typů není problém, ale liší se jednoduchostí pracovního prostředí pro nastavení a kalibraci kamery.

Podstatným parametrem je samotná cena kamerového systému v poměru s efektivností aplikace.

Tyto body byly porovnány v následné tabulce (viz Tabulka 5), která má za účel stanovit nejvhodnější řešení pro aplikaci.

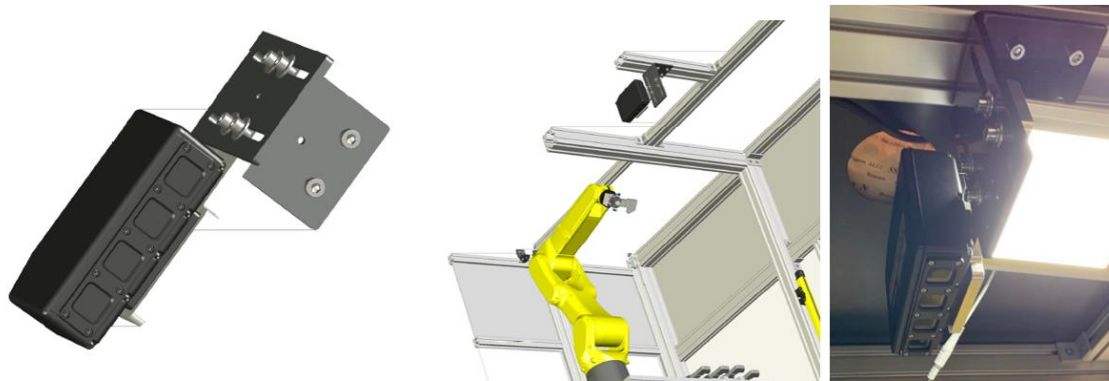
Tabulka 5 - Porovnání typů kamer pro aplikaci

Typ kamery	Pracovní vzdálenost (min 800 mm)	Měřený prostor	Rozlišení	Rozhraní	Cena	Body
3DV/400	+	+	+	++	+	6
RB 800	+	+	++	+	-	5
TriSpector 1030	-	-	-	+	+	2

Přestože kamerový systém KEYENCE RB 800, který využívá set čtyř kamer, vyniká vysokou kvalitou snímku a přesností měření souřadnic, byla při komparaci zohledněna pořizovací cena a jednoduchost zapojení do celého systému. Na základě tohoto porovnání byl vybrán systém FANUC 3DV/400, který nejen splňuje všechny požadavky pro splnění cíle, ale je i poměrně levnější než KEYENCE (viz Obrázek 37). FANUC 3DV/400 funguje na principu aktivního stereo vidění, které bylo důkladněji rozepsáno v teoretické části. V neposlední řadě díky využití stejného výrobce je možné systém zapojit napřímo do controlleru robota a není tak potřeba využívat další externí ovládací jednotku.[62, 63, 65]

Parametry integrované kamery FANUC 3DV/400 [62, 65, 66]:

- Rozlišení: 1104 x 950 pixelů
- Rozsah měření: 645 - 1145 mm
- Komunikační rozhraní: Ethernet
- Hmotnost: 1,1 kg
- Rozměry: 154 x 133 x 51 mm



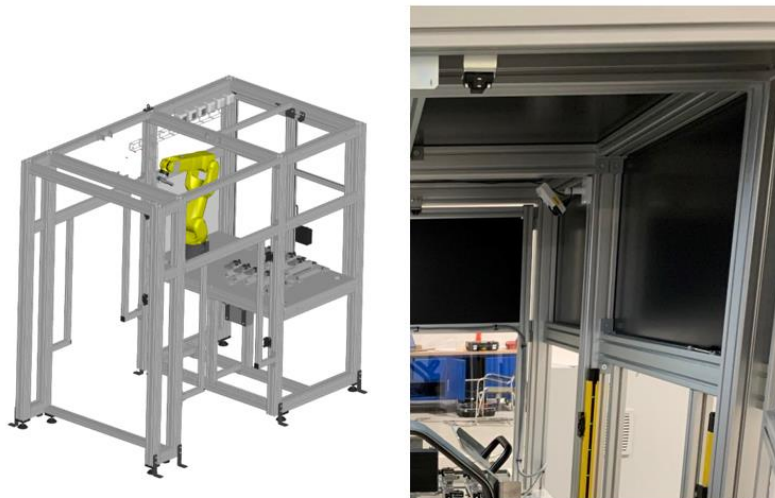
Obrázek 37 - 3D Vision Sensor 3DV/400

4.3.6 Robotická buňka

Prvky robotické buňky jsou vybrány tak, aby splňovaly nejen požadavky zákazníka, ale také aby pracoviště splňovalo dané normy a správný chod robota. Robotická buňka tvoří celistvý komplex podružných prvků pracoviště. Jednotlivé příklady jsou následně rozepsány.

Nosná konstrukce

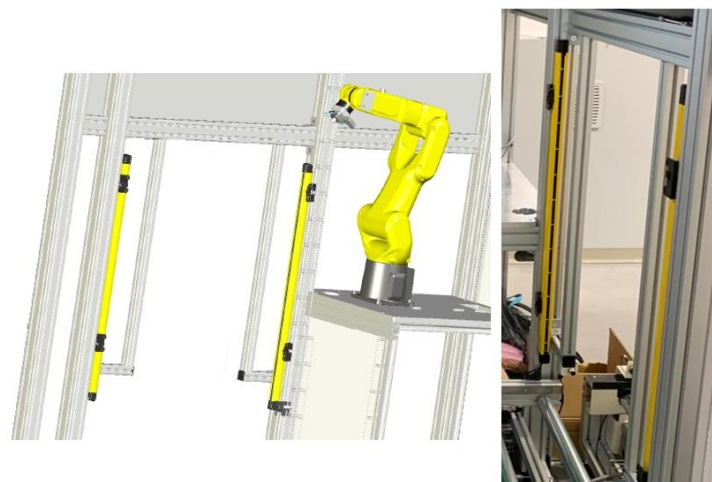
V návrhu je použita nosná konstrukce založená na únosnosti a lehké montáži hliníkových profilů. Hliníkové profily jsou navrženy s podélnou drážkou pro vložení spojovacích zámků pro ukotvení dalších prvků. Profily jsou spojeny pomocí šroubů, které jsou součástí rohovek a zámků.



Obrázek 38 - Hliníková konstrukce

Bezpečnostní světelná závora

Bezpečnostní světelná závora (viz Obrázek 39) je implementována na místa, kde není možné zabránit vstupu do pracovního prostoru pletivem, plexisklem či jinou překážkou. V tomto případě jsou to prostupy, kterými prochází paletky s tepelnými výměníky po dopravníku.



Obrázek 39 - Optický snímač

Vyšší investice do tohoto prvku bezpečnosti zaručuje přesnou a jednoznačnou kontrolu při nežádoucím vstupu objektů do pracoviště. Jiné možnosti zábran nebyly vhodné. V některých

projektech se lze setkat s pneumatickým otevíráním dveří, ale v tomto případě by to bylo nevhodné, z důvodu vysokého intervalu vstupů paletek na pracoviště.

Elektromagnetické zámky

Jako další prevence před nevyžádaným vstupem do pracovního prostoru byly integrovány elektromagnetické zámky na dveře (viz Obrázek 40), kterými lze vstoupit do pracovního prostoru pro případnou ruční manipulaci s paletkou či pro servis robota. Jedná se o zámek, který je během procesu robota zamčen pomocí elektromagnetického oblouku. Jestliže obsluha potřebuje zámek odemknout, je potřeba zmáčknout příslušné tlačítko pro vyžádání vstupu, který následně uzamkne pohyb všech zařízení na pracovišti. Poté systém čeká na uzavření zámku a potvrzení, že výrobní proces může pokračovat.



Obrázek 40 - Elektromagnetický zámek

Stínidla

K uzavření otvorů mezi prvky byly navrženy plastové výplně černé barvy, které slouží jako stínidla pro lepší funkci kamerového systému (viz Obrázek 41). Jedna z možností byla integrace tabulí z průhledného plexiskla. Tato varianta by byla finančně výhodnější, ale kvůli průsvitnosti by docházelo ke kamerovému šumu. Paprsky okolního světla prostředí by narušovaly požadované prostředí pro kameru. Kamerový šum byl podrobněji vysvětlen v teoretické části.



Obrázek 41 - Stínidla pracoviště

Osvícení

Pro dostatečné osvětlení pracovního prostoru byly integrovány LED světla. Implementace světelných zdrojů nepřináší pouze lepší viditelnost operátora při úkonech na pracovišti, ale také lepší parametry pro vyhodnocování snímků kamerou. Kamera je vybavena případným přisvícením při nedostatečné intenzitě světla, takže není potřeba integrovat silnější typy světelných zdrojů. Světla mají funkci rotace podél své osy, takže je případně možné si sklon světla ručně upravit.



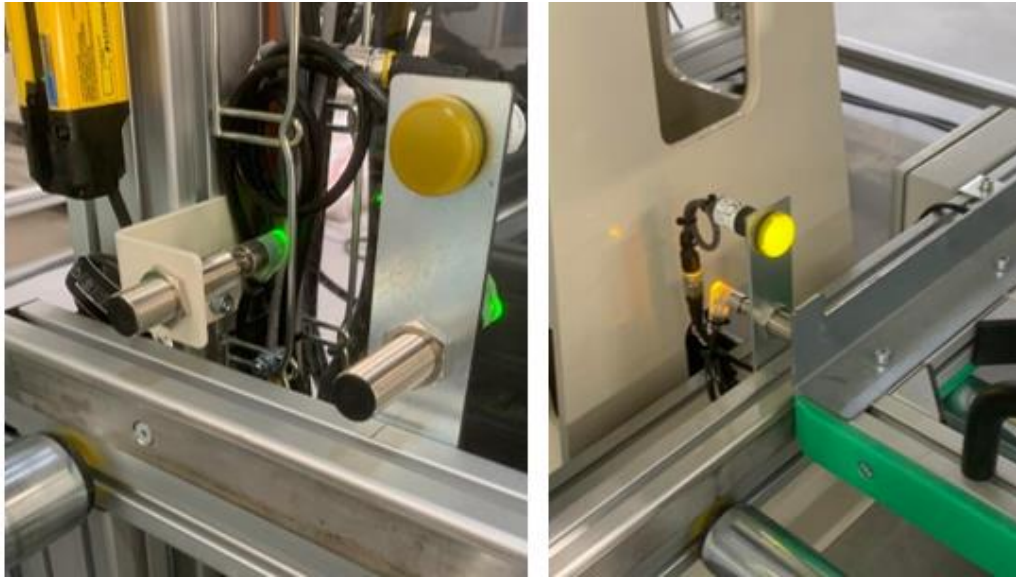
Obrázek 42 – Osvícení pracoviště pomocí LED světla

Senzory

Na pracovišti jsou implementována jak indukční, tak i laserové senzory. Laserové senzory jsou namontovány na místa, kde je potřeba vytvořit signál při průchodu objektu přes senzor (viz Obrázek 43). V tomto případě jsou například laserové senzory nastaveny u dopravníku, kde při příjezdu paletky do pozice plnění je vytvořen signál, který následně vstupuje do pracovního robota pro zahájení procesu. Pro přesnější kontrolu, zda je paletka v potřebné pozici a není vychýlená, jsou nastaveny indukční senzory (viz Obrázek 44). Tyto senzory odešlou signál v případě těsného dotyku s kovem objektu. Dohromady oba druhy senzorů vytváří precizní a přesný systém kontroly pozice paletky s tepelným výměníkem.



Obrázek 43 - Integrovaný laserový senzor



Obrázek 44 - Integrovaný indukční senzor

RF ID čtečka

Integrací RF ID čtečky (viz Obrázek 45) na pracoviště je k dispozici možnost načtení vstupních parametrů paletky, která vstupuje na pracoviště v reálném čase, tím pádem i tepelného výměníku.

Paletka je vybavena čipem, na kterém jsou nahrané základní informace o tepelném výměníku. Tato data určují, jaký typ programu bude vyvolán v následných operacích. Data se od sebe liší dle typu výměníku.



Obrázek 45 - ID čtečka čipu na paletce

4.4 Operace automatizovaného pracoviště

Kapitola je soustředěna na logiku automatizovaného pracoviště. Rozbor logiky udává přehled o úkonech a pohybech, které jsou prováděny na pracovišti s robotem k dosažení finálních požadavků ve formě korektního výstupu.

Pracoviště je tedy specializováno na plnění dusíkem tepelného výměníku pomocí průmyslového robota, který je vybaven 3D Vision systémem. Pracoviště je součástí výrobní linky, kde výstupním produktem je tepelný výměník s připájenými koleny.

Na pracoviště pro plnění dusíkem před pájením je přivezena paletka s tepelným výměníkem pomocí válečkového dopravníku. V tento moment jsou načtena identifikační data o paletce s tepelným výměníkem prostřednictvím RF ID čtečky. Důsledkem toho je vyhodnoceno, zda daný kus je určen pro pracoviště plnění dusíkem. Jestliže tento kus tepelného výměníku nepatří na pracoviště, musí být následně vyřazeno a pracoviště vyčkává na další vstupní paletku. Naopak jestli je daný kus dle identifikačních dat správný, jsou spuštěny následné operace procesu pracoviště.

Integrovaný robot vyvolá kontrolní program, který je určen pro kontrolu, zda případně nasazený přípravek pro plnění je shodný s požadovaným přípravkem pro daný typ výměníku na paletce. V případě že by tento bod nebyl splněn, robot se dá do pohybu, při kterém odloží nasazený přípravek a nasadí požadovaný. Poté vyčkává v domovské pozici na následné pokyny programu.

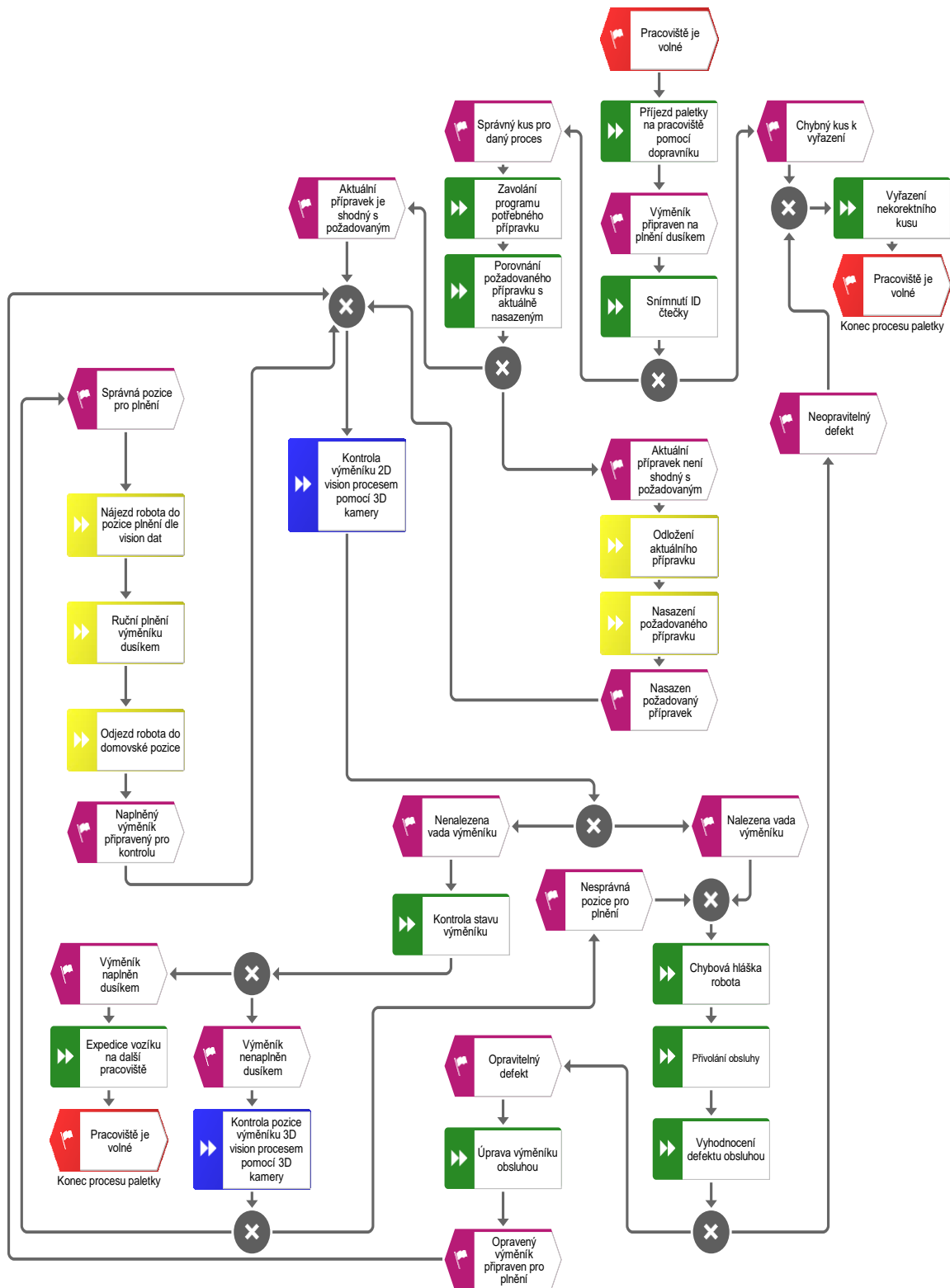
Následně se provádí kontrola výměníku pomocí 2D vision procesu, který provede 3D kamera namontována nad pracovním prostorem, ve kterém je sledována paletka. Tento proces spočívá ve vytvoření 2D snímku plnicí části tepelného výměníku kamerou, který je následně vyhodnocován dle stanovených požadavků pro plnění. Mezi tyto požadavky plnění patří kontrola nasazených kolen, počet plnicích děr a pinchů. Jestliže systém kamery nalezne neshodu s požadavky pro danou korektnost, robot vyšle chybovou hlášku do systému pracoviště, která zastaví výrobní proces. V tento okamžik je zapotřebí příchodu obsluhy na pracoviště, která následně vyhodnotí, zda neshodu lze odstranit či ne. Při první možnosti obsluha může ručně upravit výměník pro odstranění chyby a poté je provedena znova kontrola výměníku 2D procesem. V případě druhém, kdy nelze chybu vyřešit je výměník vyřazen.

Pokud 2D proces vyhodnotí výměník jako shodný, je potřeba zjistit stav výměníku, zda je již naplněn dusíkem či ne. Za podmínky že je výměník již naplněn, tak je paletka s výměníkem vyexpedována na další pracoviště pro pájení.

V případě že výměník není ještě naplněn, musí být provedena kontrola pozice výměníku 3D vision procesem. Pokaždě je tepelný výměník ve špatné pozici pro plnění, tak je proveden postup s přivolání obsluhy jako v případě nalezení chyby při 2D vision procesu. Naopak jestli je pozice v pořádku, robot si vyžádá o unikátní referenční body pro plnění dle vyměření 3D snímku pomocí kamery.

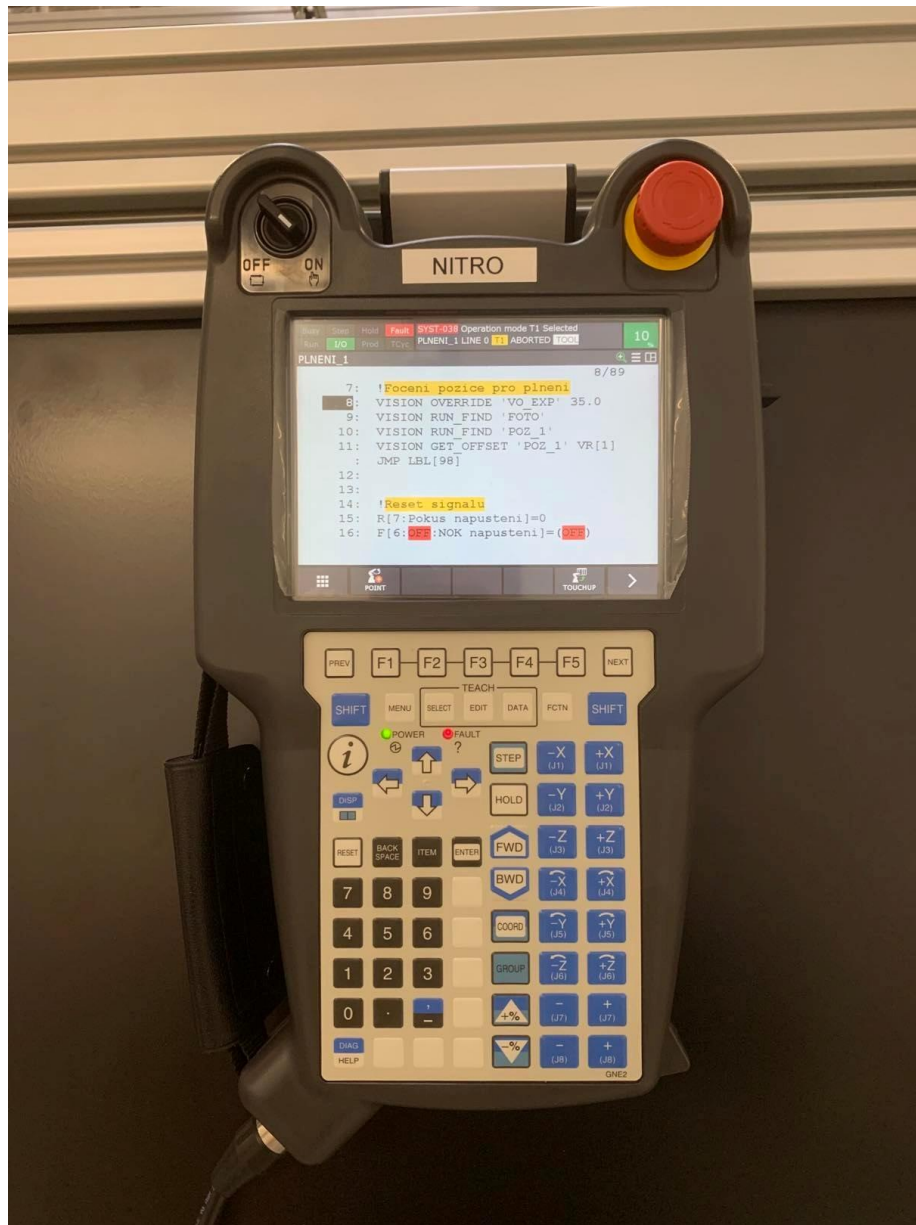
Robot následně najede do pozice plnění dle vytvořených referencí. Až v tento okamžik dochází k procesu plnění dusíkem. Po dokončení plnění robot odjíždí do domovské pozice a vyvolá program pro kontrolu 2D vision systémem, který probíhá stejně, jak již bylo zmíněno.

Zmíněné operace potřebné pro plnění dusíkem tepelného výměníku jsou vcelku složité, ale každá část tohoto procesu je podstatná pro dosažení požadované korektnosti výstupu. Pro lepší pochopení logiky procesu na pracovišti je níže vytvořen vývojový diagram operací na robotickém pracovišti, které probíhají při různých stavech reálného výměníku (viz Obrázek 46).



Obrázek 46 - Vývojový diagram operací robota

Pro naznačení vzhledu programovacího prostředí bylo vytaženo několik naprogramovaných řádků z programu plnění dusíkem viz příloha č. 3. Z příložených řádků si lze všimnout složitosti a preciznosti naprogramování celé logiky a pohybů robota spolupracující s kamerovým systémem k dosažení požadovaného finálního výrobku. Programování lze z části provést v počítačové aplikaci společnosti FANUC, ale v tomto případě byla většina příkazů vytvořena na dotykovém ovladači připojeném k robotu, označován jako iPendant-Touch. Pro praktický přehled byl vytvořen snímek ovladače s otevřeným programem plnění na pozadí (viz Obrázek 47).



Obrázek 47 - Ovladač robota s programem plnění

5 Optimalizace integrovaného pracoviště dle návrhu

Poté co bylo důkladně rozebráno rozvržení pracoviště a určení operací prováděných pomocí automatické implementace, bylo potřeba doladit a poupravit nedostatky, které vznikly během prozkoušení chodu pracoviště ve finálním prostředí.

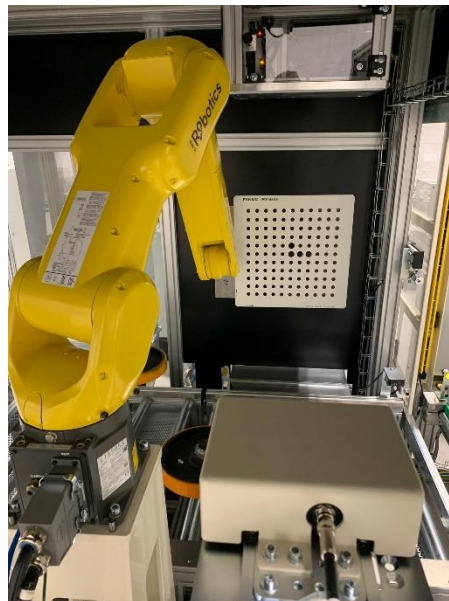
Součástí této kapitoly je tedy vyobrazení potřebných kroků optimalizace pro dokončení projektu, který následně bude ukončen předáním pracoviště zákazníkovi a spuštěn plný chod.

5.1 Kalibrace 3D kamery

Nezbytným krokem při instalaci robotického pracoviště je kalibrace kamery, která je součástí 3D Vision systému. Tento proces je potřeba provést až v posledních stádiích montáže, především po výstavbě konstrukce pracoviště. Příčinou tohoto dodržení jsou vzniklé odchylky od plánu během výstavby a vzniku nepříznivých efektů prostředí.

Kalibrace je prováděna pomocí kalibrační desky, která má přesně daný rozměr určený dle typu integrované kamery. Deska je specifická svým designem, protože na své bílé straně jsou vykresleny černé tečky s určitým rozvržením pro snímání kamery. Kalibrační deska vymezuje pracovní prostor kalibrace kamery, ve kterém bude prováděno snímání měřených bodů.

Prvním bodem kalibračního procesu je přimontování kalibrační desky na robota (viz Obrázek 48). Deska musí být pevně připevněna ke konstrukci robota. Jestliže by došlo ke změně pozice desky vůči souřadnicovému systému robota během kalibrace, finální nastavení kamery by bylo chybné a tím pádem by kamera byla velmi nepřesná.

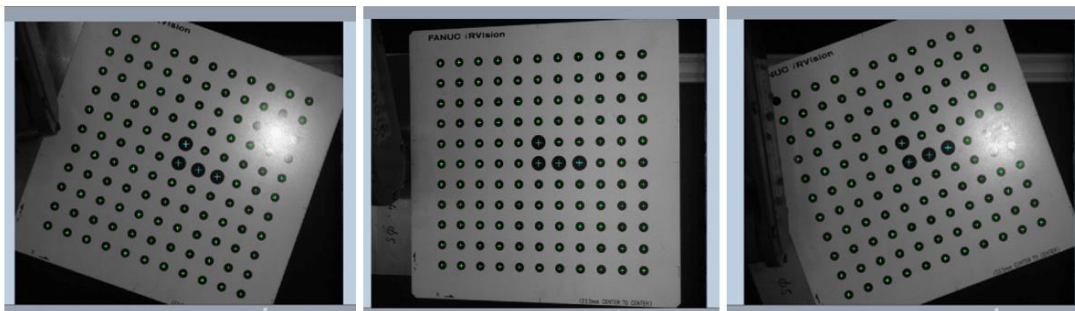


Obrázek 48 - Kalibrační deska kamery přimontovaná na průmyslového robota

Následně je potřeba vytvořit centrální bod desky, který určí jednoznačnou pozici vůči souřadnému systému integrovaného robota. Potřebný bod se získá pomocí kamery, pohybu částí robota a počítače připojeného do sítě systému. Pro zahájení tohoto procesu je nezbytné ručním ovládním pohybů robota nastavit desku kolmo na směr pohledu kamery. Najetím středu desky do centrovacího kříže vyobrazeném v programu spuštěném na počítači je deska připravena na start programu detekce referenčního bodu. Před zahájením programu jsou zadány vstupní parametry, ze které jsou odvozené rozsahy možných pohybů robota s deskou. Tyto rozsahy eliminují možnost kolize robota s konstrukcí pracoviště během pohybu při analýze

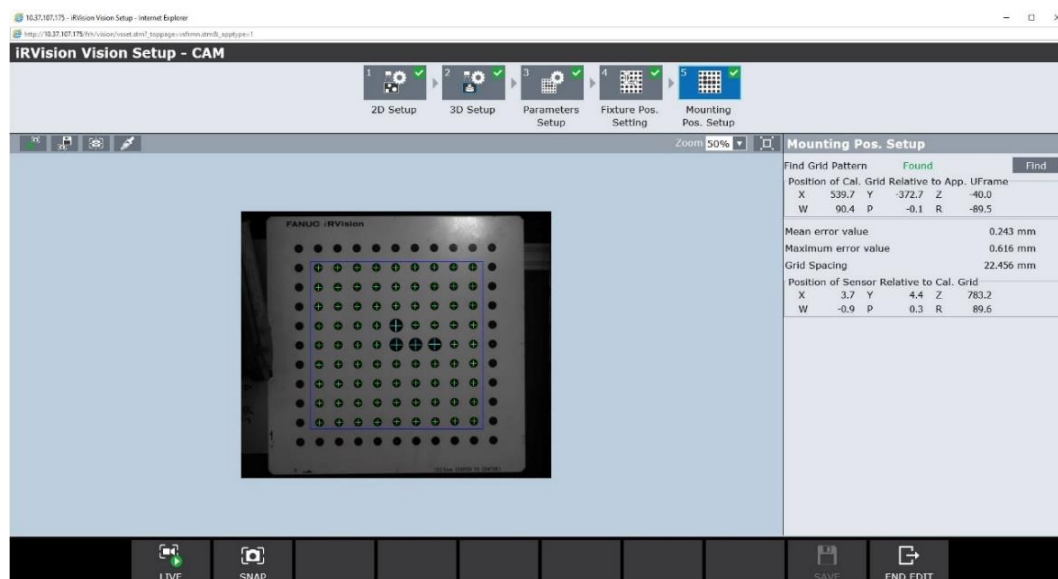
bodů. Poté se spustí automatický program detekce desky, při kterém se robot s deskou pohybuje a naklání vůči kameře v nastaveném rozsahu. Automatickým výstupem je potřebný centrální bod desky pro následnou kalibraci kamery.

V tento moment je možné zvolit vygenerovaný referenční bod v kalibračním programu. Podstata nastavení nástroje spočívá v tom, že se spustí automatický pohyb robota a focení kamery k vytvoření jednotlivých snímků desky v různých polohách, pomocí kterých se následně vyhodnocují černé puntíky desky (viz Obrázek 49). Různým posunem a náklonem desky jsou černé tečky vůči kameře opticky zdeformované a algoritmus programu dokáže vyhodnotit, v jaké poloze se nachází kamera vůči desce.



Obrázek 49 - Automatická analýza pozic kalibrační desky

Finálním výsledkem kalibrace je nadefinovaná pozice a naklonění integrované kamery vůči základnímu souřadnému systému implementovaného robota (viz Obrázek 50). Od této chvíle nesmí dojít ke změně pozic robota a ani kamery, jinak by bylo potřeba celý proces kalibrace provést znovu.



Obrázek 50 - Finální výstup kalibrace kamery

Po odmontování již nepotřebné kalibrační desky, je kalibrační proces dokončen a lze kameru ve spolupráci s robotem plně využívat pro potřebné operace.

5.2 Optická kontrola kolen a děr pomocí 2D vidění

První operace využívající integrovaný Vision systém je provedení 2D kontroly, zda plnicí část tepelného výměníku odpovídá požadavků pro plnění dusíkem. Což znamená, že kamera musí

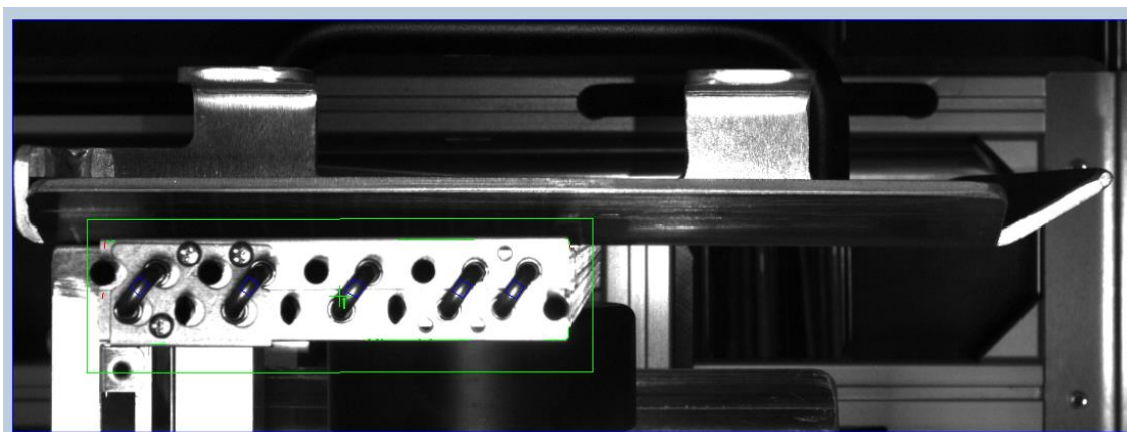
ze snímku vyhodnotit, jestli rozvržení plnicích děr a pinchů odpovídá předloze. Operace také vyhodnotí, zda jsou všechna nasazená kolena na definované pozici. Toto opatření předchází možnému konfliktu, při kterém by nasazené koleno z předchozího pracoviště vypadlo, případně chybělo, a přesto by byly provedeny řadové operace.

Kontrola funguje na principu vytvoření 2D snímku kamerou, který je následně analyzován pomocí nastavených funkcí kamery (viz Obrázek 51). Funkce poté vytváří vstupy pro další postupy logiky pracoviště.



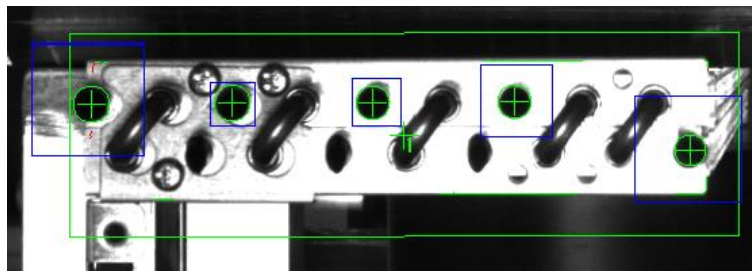
Obrázek 51 - 2D snímek kamery pro 2D kontrolu plnicí části výměníku

V prvním kroku kamera vyhledá část plnění dle naučené podobnosti podkladového výměníku, která slouží jako vyšetřovaná oblast (viz Obrázek 52). Procento shody je velmi citlivé na nastavených parametrech i kvalitě kamery, ale i také na intenzitě svícení. Vysoká intenzita svícení integrovaného světla, a případně přisvícení samotné kamery ve formě blesku, vytváří odlesky na kovovém povrchu výměníku, které zkreslují tvary hledaných objektů.

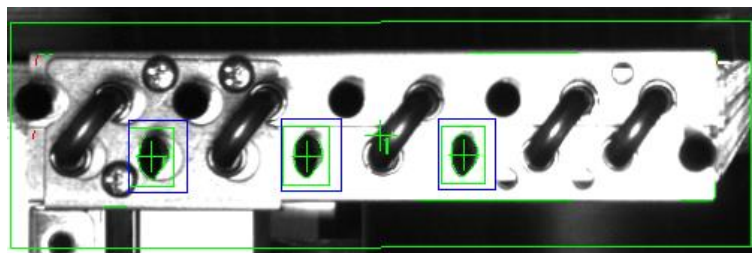


Obrázek 52 - Nalezená oblast pro vyhodnocení 2D kontroly

Detekce děr je nastavena prostřednictvím funkce shody naučeného tvaru v hledané oblasti s přípustnou odchylkou (viz Obrázek 53). Nastavená odchylka odpovídá požadavkům zákazníka, která snižuje procento vyřazených kusů kvůli malé nepřesnosti z výroby, jenž nemá vliv na funkčnost a na estetiku výměníku. Na stejné bázi funguje také detekce pinchů (viz Obrázek 54).

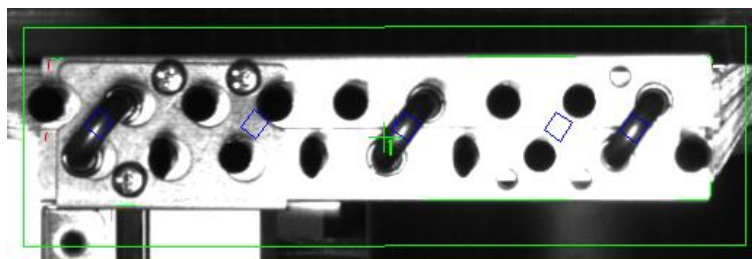


Obrázek 53 - Detekce plnicích děr při 2D kontrole



Obrázek 54 - Detekce pinchů při 2D kontrole

Pro vyhodnocení korektnosti nasazených kolen je použita funkce analýzy kontrastu v hledané oblasti (viz Obrázek 55). Jestliže koleno chybí na své pozici, kontrast oblasti vykazuje vysokou hodnotu, která neodpovídá naučené škále. V případě že by na plnicí části byla položena překážka neboli nežádoucí objekt, systém zastaví proces a vyhodí chybovou hlášku do příchodu obsluhy.



Obrázek 55 - Detekce kolen při 2D kontrole

Jedním z požadavků zákazníka byla možnost mírného vychýlení paletky při nepřesném nasazení výměníku. Kamera s nastavenou odchylkou dle potřeby zákazníka rozpoznala a zkontrolovala plnicí část, i když byla paletka mírně pootočená. V případě že by byla hranice odchylky překročena, kamera nevyhodnotí shodu a vyhlásí chybovou hlášku (viz Obrázek 56).



Obrázek 56 - Překročené vychýlení paletky při 2D kontrole

V posledním úkole před nastavováním dalších kamerových operací bylo potřeba vyzkoušet, zda kontrola probíhá v pořádku. Pro řádné odzkoušení bylo na pracoviště připraveno několik typů testovacích výměníků, které byly následně prozkoušeny. Postupem testování byly doladěny nedostatky nastavení parametrů snímku a úpravy možných odchylek dle zákazníka.

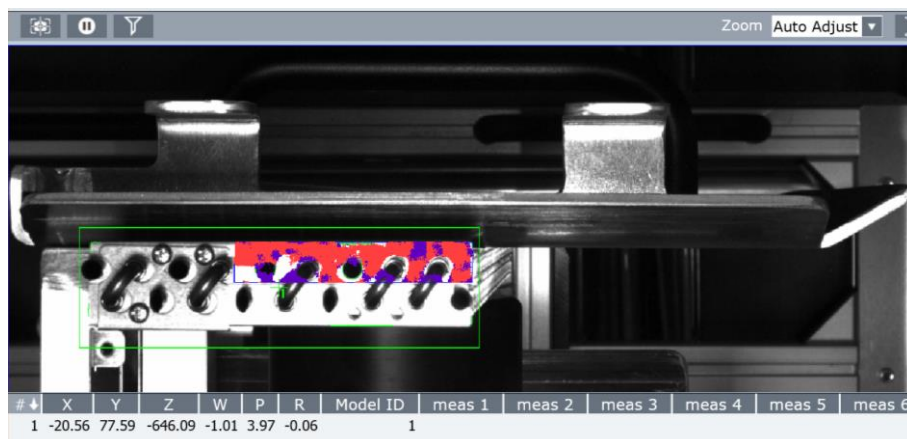
V závěru proces 2D kontroly prošel jako bezchybný, tím pádem bylo možno nastavit následné operace kamery.

5.3 Pozicování pomocí 3D vidění

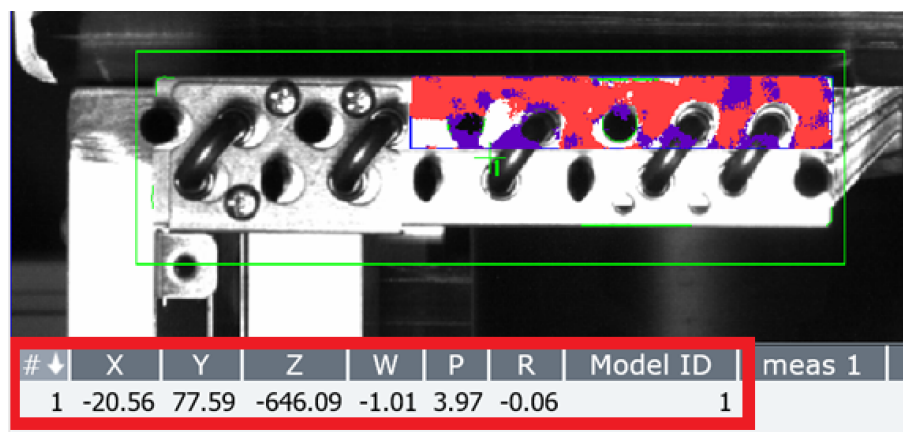
Kvůli výrobní odchylce, která je odlišná u každého kusu, se liší rozměry každého výměníku ovlivněné přípustnou tolerancí. Tím pádem není možné integrovanému robotu definovat jednoznačnou pozici plnění dle typu výměníku. Pozice může být také vychýlena nepřesností operátora, který nasazuje výměník na paletku, i přestože je řádně proškolen. Důsledkem této nepřesnosti by vznikaly časté kolize plnicího přípravku s výměníkem při pevně dané trajektorii pohybu robota.

Konsekvencí této problematiky byla vybrána implementace Vision systému s možností snímání 3D rozměrů. Díky 3D kameře je možné vytvořit originální souřadnice plnění v reálném čase, do které najede robot s přípravkem.

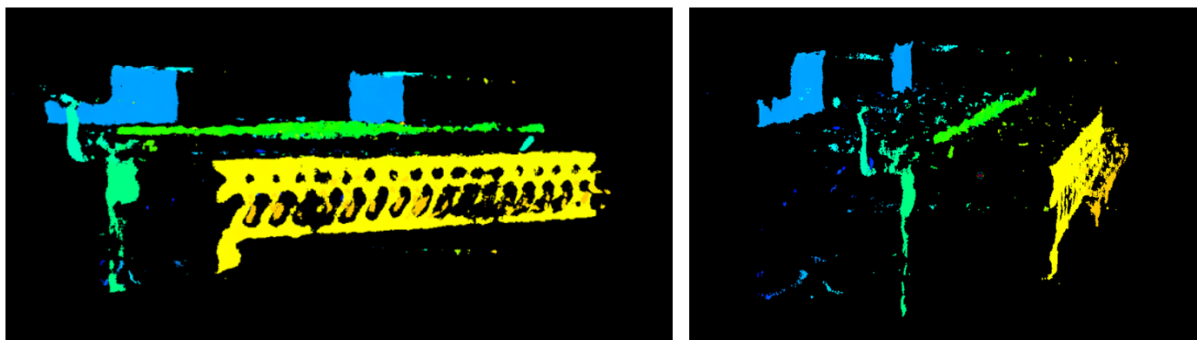
K získání potřebných souřadnic je nutné definovat kameře měřený prostor jako u 2D kontroly (viz Obrázek 52). Kamera dle podobnosti zaměří hledanou zónu a následně analyzuje hloubkové proporce skenovaného objektu (viz Obrázek 57). Program kamery vytvoří 3D model změřeného objektu (viz Obrázek 59), ze kterého následně lze importovat potřebný odchýlení od základní pozice plnění neboli hledaný offset plnění (viz Obrázek 58). V tento okamžik robot může vyvolat program plnění dusíkem upravený aktuálními souřadnicemi dle offsetu.



Obrázek 57 - Vyměření hloubkových rozměrů objektu pomocí 3D Vision systému



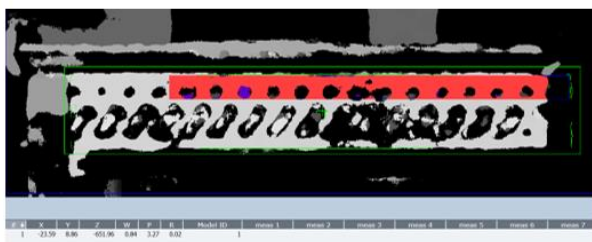
Obrázek 58 - Získaný offset 3D souřadnic pomocí 3D Vision systému



Obrázek 59 - 3D model vyměřený pomocí 3D kamery

Při implementaci bylo striktně dohlíženo na korektnost 3D kontroly, na které závisí kvalita plnění dusíkem. Dle této priority byla prováděna kontrola na několika kusech s různými výrobními odchylkami. Při doladění přijatelných odchylek pro snímání kamery bylo přihlíženo na stav, kdy operátor nevloží korektně tepelný výměník do paletky. Z tohoto důvodu byla provedena kontrola výměníku i v různých nestandardních polohách. Tím je myšleno, že tepelný výměník byl jednotlivě odzkoušen v těchto polohách: základní poloha, nadzvednutí z paletky, pootočení paletky, vyklonění ve více směrech, a následně analyzováno chování pohybu robota.

ZÁKLADNÍ POLOHA



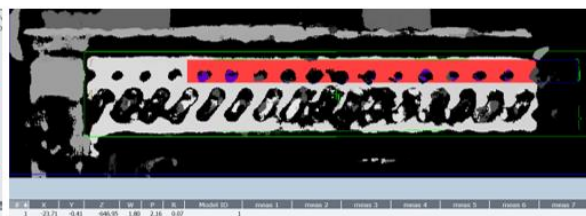
POSUNUTÍ V OSE KAMERY Y



POOTOČENÍ PALETKY



VYCHÝLENÍ VE VÍCE SMĚRECH



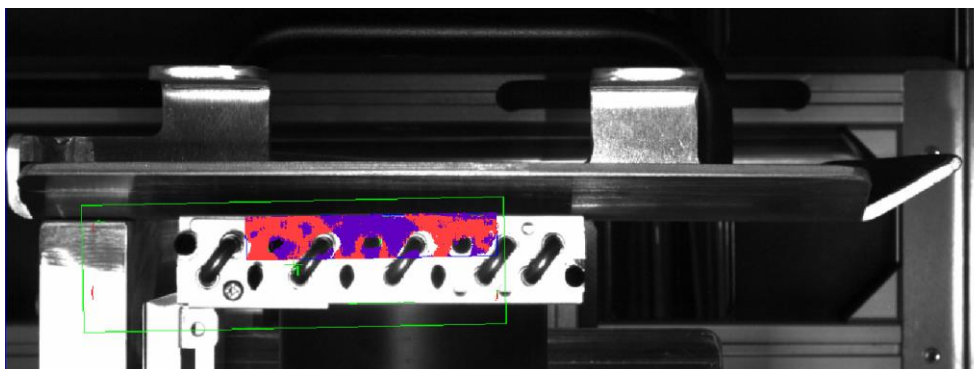
Obrázek 60 - Testování různých poloh pomocí 3D Vision systému

V případě že vychýlení paletky je vysoké, dochází k zhoršení přesnosti plnění. Nástavce přípravku pro plnění zadržávají o hrany plnicích děr, ale i přesto je plnění dokončeno a dodrženy požadavky před exportem paletky na další pracoviště (viz Obrázek 61). K vysokému vychýlení paletky by nemělo docházet díky školení operátorů, kteří musí dodržet pravidla nasazování výměníku na paletku, a díky prevenci ve formě indukčních senzorů, které vyhazují chybovou hlášku při vyklonění paletky.



Obrázek 61 - Plnění dusíkem při vyšším vychýlení tepelného výměníku pomocí 3D Vision systému

Při nastavení nízkých požadavků na přesnost shody s naučeným vzorem, může kamera zaměřit chybný vyhodnocovaný prostor, který díky zkreslení může splňovat nastavenou podobnost (viz Obrázek 62). Poté robot s přípravkem najede do špatné plnicí pozice (viz Obrázek 63) a systém vyhodnotí chybné parametry plnění pomocí tlaků.



Obrázek 62 - Chybné vyměření hloubkových rozměrů objektu pomocí 3D Vision systému



Obrázek 63 - Chybný nájezd plnění dusíkem

Všechny kamerové kontroly měly korektní průběh a u všech testovaných paletek byl splněn cíl plnění. Za účelem dosáhnout maximální spokojenosti zákazníka byl zaveden poslední krok optimalizace, který zlepšil hladkost zajíždění nástavců přípravku do děr.

5.4 Optimalizace přídavků pro plnění

Při testování plnění byl zjištěn nedostatek, kdy během zajíždění nástavců přípravku pro plnění do děr dochází k zadrhávání nástavců o plnicí trubky výměníku.

Zadrhávání vznikalo v hlubší fázi zájezdu kvůli potřebě zasunutí velké části nástavce do trubek pro plnění. V některých případech se nástavec zasekl v útrobach výměníku kvůli malé vůli a vychýlení v hlubší části trubek. V případě zaklínění nástavce nebylo možné výjezdu z pozice plnění bez poškození výměníku, v horším případě docházelo k poškození přípravku pro plnění.



Obrázek 64 - Plnění dusíkem s dlouhými nástavci přípravku s menším hloubkou zájezdu

Při pokusu o vyřešení ve formě snížení hloubky zájezdu nástavce (viz Obrázek 64) docházelo k vyskakování nasazených kolen při spuštění plnění. Příčinou problému byl vysoký prostor mezi kolenem a konstrukcí přípravku, který v předešlých situacích byl minimální a kolena se během tlaku opřela o konstrukci přípravku. Z tohoto důvodu se muselo najít jiné řešení.



Obrázek 65 - Zkrácené nástavce přípravku pro plnění dusíkem

Jako prevence této chybovosti byla délka nástavců zkrácena o jeden článek (viz Obrázek 65). Po provedení testů bylo potvrzeno, že toto konstrukční řešení eliminovalo zmíněnou problematiku. Snížení délky zanechalo potřebnou malou vůli mezi kolenem a konstrukcí, takže kolena nemohou vyskočit během plnění (viz Obrázek 66). Také díky zkrácené délce nástavec nedojíždí do útroh výměníku, což přispívá k hladkému výjezdu při odjezdu přípravku (viz Obrázek 66).



Obrázek 66 - Plnění dusíkem zkrácenými nástavci přípravku

Dokončením tohoto kroku byla optimalizace úplná. Tím pádem pracoviště je připravené pro zahájení výroby s vyžadovanou automatizací. V poslední kapitole bude práce shrnuta a prezentováno ekonomické vyhodnocení, které má vliv na celkovou návratnost a spokojenost zákazníka s projektem.

6 Vyhodnocení

V této kapitole bude pozornost zaměřena na vyhodnocení návrhu a následné realizace automatizovaného pracoviště pro plnění dusíkem. V prvním kroku je pracoviště vyhodnoceno z ekonomického hlediska a následně podrobněji rozebrány přínosy implementace automatizovaného pracoviště ve společnosti.

6.1 Ekonomické vyhodnocení

Při předložení dokumentace návrhu musí být také předloženy propočty návratnosti dané investice do projektu. Pro výpočet je možno využít mnoho metod propočtu, ale pro daný návrh byl zákazníkem požadován propočet z hlediska doby návratnosti. Z tohoto důvodu se bude kapitola zabývat tímto výpočtem.

K vyvození doby návratnosti je použita statická metoda zohledňující průměrnou roční úsporu a velikost potřebné investice do nového pracoviště. Pro výpočet je použit všeobecný vzorec v rovnici (1).

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{\text{Velikost investice}}{\text{Úspora nákladů}} [\text{roky}] \quad (1)$$

Velikost investice je dána cenovou nabídkou dodavatele integrovaných komponentů, která je zobrazena v následné tabulce (viz Tabulka 6). Celkové náklady potřebné na výstavbu nového pracoviště jsou uvedeny v této tabulce.

Jak již bylo zmíněno, společnost žádala o zautomatizování pracoviště především z důvodu minimalizování pracovní síly, která způsobuje vysoké mzdové náklady operátorů. Tento aspekt byl propočten a díky eliminaci jednoho směnového operátora na pracovišti ve třech směnách, bylo možné tyto mzdové náklady o hodnotě 35 000 Kč/měsíc na operátora a finanční náročnost požadovaného každoročního proškolení operátorů v hodnotě 20 000 Kč/operátor zohlednit v uspořené nákladech. Tyto náklady jsou poníženy energetickou spotřebou elektřiny robota vycházející z příkonu 0,5 kWh, využití výkonu 70 % během časového fondu a ceně energie 6 Kč/kWh. Energetická spotřeba je oproti ostatním aspektům minimální, ale i přesto je započítána. Z tohoto důvodu jsou v tabulce vyčísleny úspory následovně (viz Tabulka 6).

Tabulka 6 - Náklady na výstavbu a úspora nákladů

Náklady na výstavbu	
Položka	Částka
Robot + Vision systém	1 688 400 Kč
Periferie	513 360 Kč
Rozvaděč	250 000 Kč
Práce	707 200 Kč
Celkem	3 158 960 Kč

Úspora nákladů	
Položka	Částka
Mzda	1 260 000 Kč
Proškolení	60 000 Kč
Energie robota	- 10 800 Kč
Celkem	1 309 200 Kč

Při výpočtu návratnosti není potřeba přepočítávat rychlost plnění výměníku robotem oproti operátoru ve formě taktu, protože čas je přibližně shodný a není prioritní kvůli čekání na uvolnění následného pájecího pracoviště. Tento typ prostojů je pro společnost přípustný.

Tím pádem doba návratnosti vypadá následovně (2).

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{3\,158\,960}{1\,309\,200} \cong 2,413 \text{ roků} \quad (2)$$

Výsledek návratnosti v hodnotě 2,4 roků je vyhovující a splňující požadavek zákazníka, který určil maximální přijatelnou dobu návratnosti do 3 let. Z tohoto ekonomického důvodu byl projekt zrealizován a byly získány přínosy rozebrané v následovné podkapitole.

6.2 Zhodnocení přínosů nového pracoviště

Hlavním přínosem implementace návrhu pracoviště je disponibilita dalších prvků celkové úrovně automatizace společnosti. Rozhodnutí implementace návrhu přineslo mnoho výhod, mezi které patří především zvýšení celkové efektivnosti výroby pracoviště.

Zapojením průmyslového robota na pracoviště se otevírá parametr neustálého provozu pracoviště bez následků únavy a to se stabilním taktům. Robot nahradil monotónní práci operátora pro jeho kreativnější využití ve společnosti a z části snížil nebezpečí úrazu. Lidské zdroje nejsou plně eliminovány, jelikož je potřeba integrované lidské obsluhy pro vyhodnocování chybových hlášek pracoviště pro určení dalších postupů.

Díky zapojení 3D Vision systému je zvýšena úroveň kontroly kvality a tím pádem i redukována celková zmetkovitost. Jednoznačnost a přesnost kamery udává vysoký standard pracoviště a zaručuje jistotu kvality výrobků.

Nejdůležitějším bodem všech výhod je snížení celkových nákladů společnosti. Jelikož mzdy zaměstnanců neustále stoupají a i poptávka po pracovní síle, tak díky implementaci průmyslového robota na pracoviště jsou tyto aspekty eliminovány a velmi pozitivně vnímány společností DAIKIN ve formě poklesu mzdových nákladů.

Hlavní nevýhodou pracoviště je potřeba vyššího zaškolení dle úrovně automatizace, což není levná záležitost. Jestliže obsluha projde přiřazeným proškolením, je zaručena funkčnost a efektivita pracoviště dle plánu. Takže případná investice do vzdělání zaměstnanců má vysoký potenciál návratnosti. V tomto projektu je s dodavatelem průmyslového robota domluvena spolupráce, která zajišťuje v případě vzniklé chyby integrovaného robota rychlý servis týmem dodavatele, což eliminuje potřebu vyššího zaškolení a je tedy potřeba pouze úhrady případného servisu.

Návrhem a implementací automatizovaného pracoviště bylo dosaženo vyžadovaného cíle, což bylo zefektivnit proces plnění dusíkem. Tento cíl byl dosažen s maximální spokojeností zákazníka. V blízké době bude pracoviště spuštěno do plného provozu a přispěje pozitivními čísly do statistik celkové výroby společnosti DAIKIN.

Závěr

Na automatizaci, konkrétněji na automatizaci s využitím průmyslového robota ve spolupráci s 3D Vision systémem, se soustředí tato práce.

V první kapitole teoretické části se tato práce soustředila na pochopení automatizace v průmyslu, především ve výrobních procesech. V této kapitole je uvedeno vysvětlení základních i nadstandartních informací o průmyslových robotech, které jsou důležité pro pochopení a případné rozhodnutí o vhodném typu průmyslového robota pro implementaci.

Druhá kapitola byla zaměřena na 3D Vision systémy, ve které bylo možné zjistit principy systémů vidění a jejich vhodnost pro uplatnění. 3D Vision systémy mají vysoký potenciál, který nadále roste a čím dál více se využívá v průmyslu, proto je vhodné být v obraze a pochopit pointu této technologie. Následně zmíněná teorie byla použita pro vytvoření praktické části.

V následné kapitole se práce zaměřovala na analýzu a naznačení problematiky, kterou se bude práce zabývat. Jednalo se o operátorské pracoviště společnosti DAIKIN, na kterém se provádělo plnění dusíkem potřebné pro pájení. V této kapitole byly rozebrány nedostatky této staré verze pracoviště, které musí být eliminovány pro zvýšení efektivnosti výroby.

Navazující kapitola se zabývala zpracováním poznatků starého pracoviště a teorie k vytvoření nejvhodnějšího návrhu pracoviště s vysokou úrovní automatizace. Úkolem byla implementace robotické buňky obsahující průmyslového robota společnosti FANUC a s integrovaným 3D Vision systémem pro vyhodnocování pozic a kontrolu výměníků.

V poslední kapitole praktické části došlo k rozboru optimalizace pracoviště k získání maximálního využití implementace a maximální spokojenosti zákazníka.

Poté bylo provedeno vyhodnocení návrhu a implementace z ekonomického hlediska, kde byla vypočtena návratnost projektu, a uvedeny přínosy výstavby nového pracoviště.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Od 1. průmyslové revoluce ke 4. | Technický týdeník. *www.sabre.cz* [online]. [vid. 2022-10-01]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [2] CHLEBNÝ, Jan. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [3] *AllAboutLean.com – Organize your Industry* [online]. [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/>
- [4] *Prumysl_4.0_publicace_vladycr.pdf* [online]. [vid. 2022-10-02]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/prumysl_40_23stran_publicace_vladycr_0.pdf
- [5] Automatizace ve výrobě. *KUKA AG* [online]. [vid. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/vyroba-v-budoucnosti/automatizace>
- [6] ARTEM. Základní pojmy z automatizace: 32 termínů, které musíte znát. *FactoryAutomation.cz* [online]. 25. leden 2015 [vid. 2022-10-01]. Dostupné z: <https://www.factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>
- [7] JIRSÁK, Petr. *Logistika pro ekonomy - vstupní logistika*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2012. ISBN 978-80-7357-958-6.
- [8] *Výrobní a nevýrobní procesy ve společnosti | ALTAXO* [online]. [vid. 2022-10-03]. Dostupné z: <https://www.altaxo.cz/provoz-firmy/management/rizeni-podniku/vyrobní-a-nevyrobní-procesy-ve-společnosti>
- [9] 3D aditivní technologie - rok inovací a novinek | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/3d-aditivni-technologie-rok-inovaci-a-novinek>
- [10] OPLATEK, František. *Automatizace a automatizační technika. IV, Automatické systémy*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 978-80-7226-249-6.
- [11] ARTEM. 3 nejčastější možnosti automatizace výroby. *FactoryAutomation.cz* [online]. 24. srpen 2016 [vid. 2022-10-01]. Dostupné z: <https://www.factoryautomation.cz/3-nejcastejsi-moznosti-automatizace-vyroby/>
- [12] RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace: roboty a manipulátory*. Brno: VUT Strojní inženýrství v Brně, 2003.
- [13] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [14] *Robotizace – Sociologická encyklopedie* [online]. [vid. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://encyklopedie.soc.cas.cz/w/Robotizace>

- [15] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Vyd. 1. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [16] Manipulační technika od ARC-Robotic. *ARC-Robotics / Automatizace a robotizace výroby* [online]. [vid. 2022-10-28]. Dostupné z: <https://www.arc-robotics.cz/manipulace-kompletace>
- [17] *FANUC Delta Roboty – ideální pro sbírání a balení - Fanuc* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/delta-robots>
- [18] *Průmyslový robot FANUC Arc Mate 100iD - Fanuc* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/svařování-elektrickým-obloukem/arcmate-100id>
- [19] *Robot do čistých prostorů FANUC M-20iB/25C - Fanuc* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m-20/m-20ib-25c>
- [20] VOLNÁ, Eva. *Úmělá inteligence*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2013. ISBN 978-80-7464-330-9.
- [21] CHAKRABORTY, Esha. Co je kloubový robot: 11 faktů, které byste měli vědět. *Lambda Geeks* [online]. [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://cs.lambdageeks.com/articulated-robots/>
- [22] *What is an Articulated Robot?* [online]. [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-an-articulated-robot.html>
- [23] ADMINSC. Průmyslové roboty: jaké jsou jejich druhy? *FactoryAutomation.cz* [online]. 16. březen 2018 [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-2/>
- [24] *Průmyslový robot FANUC LR Mate 200iD/7L - Fanuc* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-lrmate/lrmate-200id-7l>
- [25] *Robotic Pick and Place at 182 Parts/minute - FANUC's M-2iA Delta Robot Picks Breather Caps* [online]. 2014 [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DJt2tGsyp6U>
- [26] *Řada průmyslových delta robotů FANUC M-1 - Fanuc* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/delta-robots/řada-m1>
- [27] *High Speed SCARA Robot for Pick & Place – FANUC's New SR-3iA SCARA Robot Displays Speed & Precision* [online]. 2018 [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=-m1oKuFkSTE>
- [28] Industrial robots | Stäubli. *Staubli* [online]. [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/global/en/robotics/products/industrial-robots.html>
- [29] *High-speed precision – FANUC SCARA robot - Fanuc* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/scara-series/scara-sr-3ia>

- [30] Řada robotů FANUC pro svařování elektrickým obloukem - Fanuc [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/svařování-elektrickým-obloukem>
- [31] Obratnější robotická paletizace - Fanuc [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/aplikace/paletizace>
- [32] Průmyslové roboty FANUC PaintMate - Fanuc [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-paint>
- [33] Spolupráce člověka s robotem ve výrobě, coboty. KUKA AG [online]. [vid. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/vyroba-v-budoucnosti/spolupr%20c3%20a1ce-%20c4%8dlov%20c4%9bka-s%20a0robotem>
- [34] Spolupracující roboty FANUC - Fanuc [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/spolupracující-roboty>
- [35] KOHOUTOVÁ, Miroslava. Kobot s robotem si nekonkurují, spíše se doplňují. *Hospodářské noviny (HN.cz)* [online]. 21. září 2021 [vid. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://hn.cz/c1-66976190-kobot-s-robotem-si-nekonkuruji-spise-se-doplnuji>
- [36] *What is Machine Vision? / RoboticsTomorrow* [online]. [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://roboticstomorrow.com/article/2019/12/what-is-machine-vision/14548>
- [37] NOVOTNÝ, František. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020. ISBN 978-80-7494-545-8.
- [38] What is a Machine Vision System (MVS)? - Definition from Techopedia. *Techopedia.com* [online]. [vid. 2022-11-04]. Dostupné z: <http://www.techopedia.com/definition/30414/machine-vision-system-mvs>
- [39] HAVLE, Otto. *Strojové vidění I: Principy a charakteristiky*. 2008, **14,1**, str. 42-45. ISSN 1210-9592.
- [40] HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění. Část 1, Základní principy a hardware*. Vyd. 1. V Liberci: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [41] Průmyslové zpracování obrazu | SICK. *SICK* [online]. 2022 [vid. 2022-11-05]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/prumyslove-zpracovani-obrazu/c/g114858?q=:Def_Type:ProductFamily&fs=9700&fs=9700#benefit_2
- [42] Machine Vision and Automation Solutions. *Photoneo Focused on 3D* [online]. [vid. 2022-11-09]. Dostupné z: <http://https%253A%252F%252Fwww.photoneo.com%252F>
- [43] 3D vision systems - which one is right for you? *Photoneo Focused on 3D* [online]. 4. březen 2021 [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <http://https%253A%252F%252Fwww.photoneo.com%252F3d-vision-systems-which-one-is-right-for-you%252F>




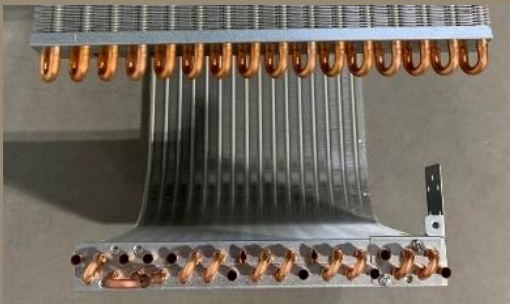




- [44] What Is Signal-to-Noise Ratio and Why Does It Matter? *Lifewire* [online]. [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/signal-to-noise-ratio-3134701>
- [45] *VoXel / Scientific Volume Imaging* [online]. [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://svi.nl/VoXel>
- [46] *SamplingDensity / Scientific Volume Imaging* [online]. [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://svi.nl/SamplingDensity>
- [47] Major 3D sensing technologies. *Photoneo Focused on 3D* [online]. 11. března 2021 [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <http://https%253A%252F%252Fwww.photoneo.com%252F3d-vision-systems-which-one-is-right-for-you-2%252F>
- [48] *An Introduction to Laser Triangulation Sensors* [online]. 2020 [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OWYvcxpZjbc>
- [49] *Time-of-flight: what you need to know about these new means of computer vision* [online]. [vid. 2022-11-09]. Dostupné z: <https://www.avsystem.com/blog/time-of-flight/>
- [50] GROUP, SAE Media. *3D Machine Vision Using Laser Triangulation* [online]. [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/ptb/features/applications/22464>
- [51] *What is a stereo vision camera? – e-con Systems* [online]. 10. říjen 2018 [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/what-is-a-stereo-vision-camera-2/>
- [52] Active stereo Archives. *1stVision Inc. - Machine Vision Articles* [online]. [vid. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.1stvision.com/machine-vision-solutions/tag/active-stereo>
- [53] ZIVID. *3D structured light vision* [online]. [vid. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.zivid.com/3d-structured-light>
- [54] Parallel Structured Light Addresses Limitations of Standard 3D Sensing. *Robotics Business Review* [online]. 29. červen 2021 [vid. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.roboticsbusinessreview.com/opinion/parallel-structured-light-addresses-limitations-of-standard-3d-sensing/>
- [55] *DICz Plzeň* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: https://www.daikinczech.cz/cz_cz/index/o-dicz/dicz-plzen.html
- [56] *O DICZ* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: https://www.daikinczech.cz/cz_cz/index/o-dicz.html
- [57] O společnosti. *ARC-Robotics | Automatizace a robotizace výroby* [online]. [vid. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.arc-robotics.cz/o-nas>
- [58] *Řada průmyslových robotů FANUC LR Mate - Fanuc* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-lrmate>

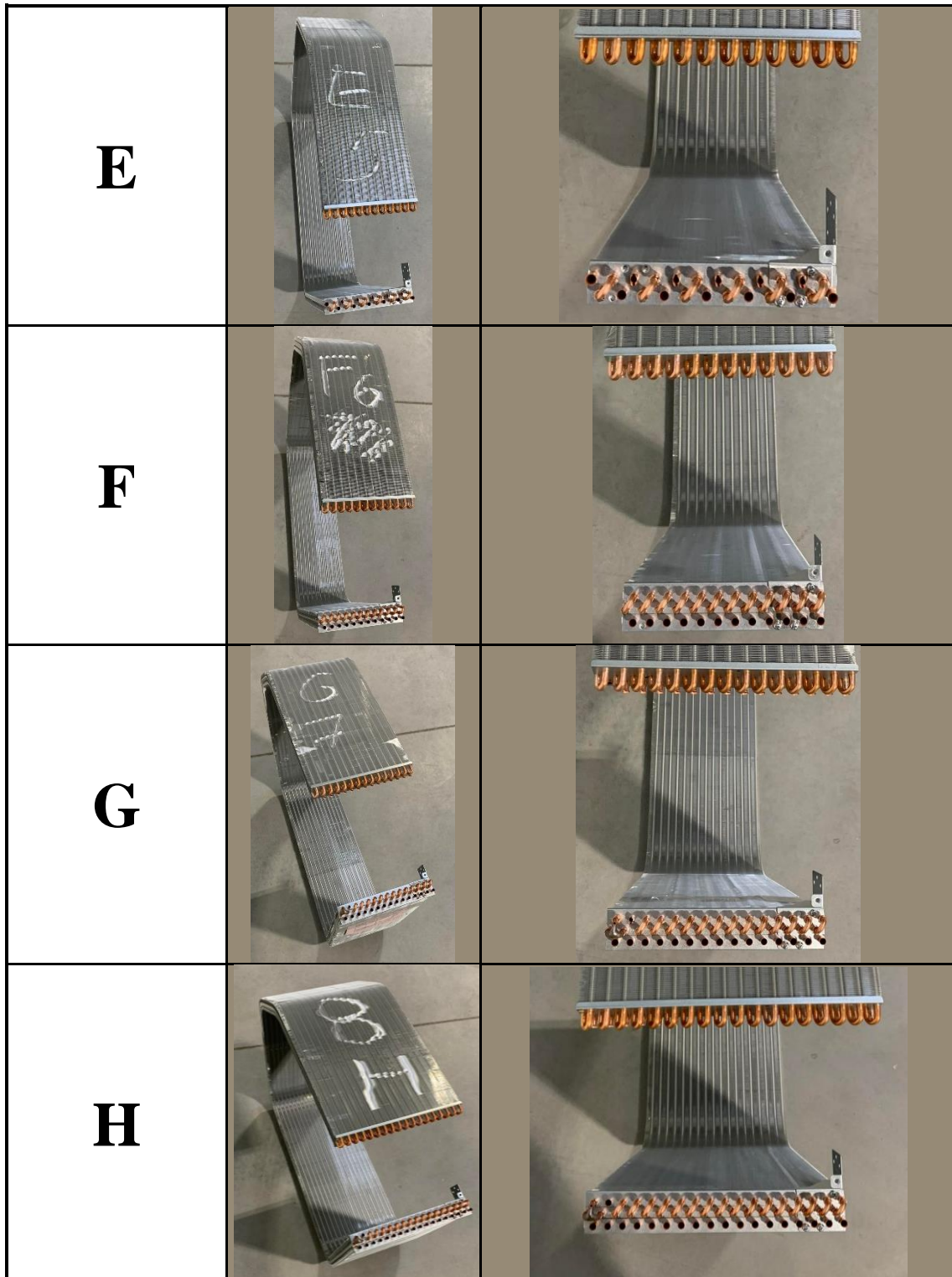
- [59] *Comparing the LR Mate 200ic and 200id - Robots Done Right* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/comparison-lr-mate-200ic-and-200id.html>
- [60] *Meaning of FANUC Robot Model Letters - Robots Done Right* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/meaning-of-fanuc-robot-model-letter.html>
- [61] *Filtr robotů FANUC - Fanuc* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů>
- [62] *Extremely flexible 3D Vision Sensor - FANUC introduces larger 3D Vision Sensor - Fanuc* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/news-and-events/eu-3d-vision-10-2019>
- [63] *KEYENCE 3D-Vision RB-800* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: https://www.yaskawa.eu.com/ecosystem/productdetail/product/keyence-3d-vision-rb-800_17073
- [64] *3D Machine Vision / TriSpector1000 / SICK* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/prumyslove-zpracovani-obrazu/3d-machine-vision/trispector1000/c/g389052>
- [65] *3D Area Sensor pro účinnou robotickou manipulaci - Fanuc* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/příslušenství/vidění/3d-vision>
- [66] *Robot Vision Products | Robots for Vision Inspection Systems | FANUC iRVision. fanucamerica* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/vision-products>

Seznam příloh









Příloha č. 1 - Schéma typů výměníků	72
Příloha č. 2 - Typy plnicích přídavků.....	74
Příloha č. 3 - Příkazové řádky programu plnění.....	75

Příloha č. 1 - Schéma typů výměníků

Typ výměníku	Pohled	Otvory
A		
B		
C		
D		



Příloha č. 2 - Typy plnicích přídavků

Typ Jigu	Typ výměníku	Pohled
1	A	
2	B	
3	C	
4	D	
5	E	
6	F	
7	G	
8	H	

Příloha č. 3 - Příkazové řádky programu plnění

```
1: LBL[10] ; → Vstup smyčky s označením 10
2: WAIT .50(sec) ; → Vyčkání robota
3: CALL CHCK_HOME ; → Kontrola zda je robot v domovské pozici
4: UTOOL_NUM=1 ; → Nastavení módu referenci hlavy robota
5: UFRAME_NUM=0 ; → Výběr souřadnicového systému prostoru
6: ;
7: !Foceni pozice pro plneni ; → Vyhodnocení snímku
8: VISION OVERRIDE 'VO_EXP' 35.0 ; → Nastavení parametrů focení
9: VISION RUN_FIND 'FOTO' ; → Vyvolání fotky
10: VISION RUN_FIND 'POZ_1' ; → Vyvolání snímku
11: VISION GET_OFFSET 'POZ_1' VR[1] JMP LBL[98] ;
→ Vyexternování registrů z visionu

12: ;
13: ;
14: !Reset signalu ; → Preventivní kontrola robota a registrů
.
.
.
30: !Prijezd ; → Příjezd robota dle souřadnic ze snímku
31: L P[1:Pozice plneni] R[15]mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[3] VOFFSET,VR[1] ;
→ Nájezd robota nad pozici plnění s odstupem
a odchýlení dle kamery
32: L P[1:Pozice plneni] 500mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[6] VOFFSET,VR[1] ;
→ Nájezd robota nad pozici plnění s nižším odstupem a odchýlení dle kamery

33: SKIP CONDITION R[20]>R[21] → Podmínka přerušování pohybu ;
34: L P[1:Pozice plneni] 25mm/sec FINE VOFFSET,VR[1] ;
→ Nájezd robota do pozice plnění s odchýlením dle kamery

35: ;
36: !NITROGEN ; → Program plnění dusíkem
37: LBL[4] ; → Vstup smyčky s označením 4
38: PR[50]=LPOS ; → Úprava registrů
39: WAIT .10(sec) ; → Vyčkání robota
40: R[8]=PR[50,3] ; → Úprava registrů
41: WAIT .10(sec) ; → Vyčkání robota
42: //IF R[8]>R[9],JMP LBL[5] ; → Podmínka zda robot dotlačil
43: DO[54:OFF]=ON ; → Sepnutí výstupu
44: WAIT R[38] ; → Vyčkání robota
45: DO[54:OFF]=OFF ; → Vypnutí výstupu
46: L PR[50] 25mm/sec FINE ; → Najetí do pozice
47: JMP LBL[6] ; → Vyvolání smyčky čísla 6
48: ;
49: !Robot nedotlacil ; → Vyhodnocení chyby při nedotlačení
50: LBL[5] ; → Vstup smyčky s označením 5
51: F[7:OFF]=(ON) ; → Vyvolání výstupné chyby
52: ;
53: !Odjezd ; → Odjezd robota do domovské pozice
54: LBL[6] ; → Vstup smyčky s označením 6
55: L P[1:Pozice plneni] 100mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[6] VOFFSET,VR[1] ;
→ Odjezd robota nad pozici plnění s odstupem a odchýlení dle kamery danou rychlostí
56: ;
57: L P[1:Pozice plneni] R[15]mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[3] VOFFSET,VR[1] ;
→ Nájezd robota nad pozici plnění s odstupem a odchýlení dle kamery danou rychlostí
58: ;
59: IF (DI[24:OFF]),JMP LBL[1] ; → Podmínka kontroly digitálního výstupu
60: ;
61: CALL HOME → Zavolání programu nájezdu do domovské pozice ;
.
.
.
/END → Ukončení programu plnění
```