

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

## **Diplomová práce**

Využití snímacích systémů v průmyslové automatizaci

Autor: **Bc. Michael Froněk**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Michal ŠIMON, Ph.D.**  
Konzultant: **Ing. Pavel Raška, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michael FRONĚK**

Osobní číslo: **S17N0078P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**

Název tématu: **Využití snímacích systémů v průmyslové automatizaci**

Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Výrobní a montážní proces
2. Možnosti automatizace
3. Analýza použitelných metod
4. Uplatnění a využitelnost metod
5. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací: 0 výkresů  
Rozsah kvalifikační práce: 50 - 70 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

1. SICILIANO, B., KHATIB, O. *Springer handbook of robotics*. 2nd edition. Berlin: Springer, 2016, LXXVI, 2227 stran. ISBN 978-3-319-32550-7
2. BUCHHOLZ, D. *Bin-picking: new approaches for a classical problem*. Cham: Springer, 2015, xv, 117 stran. *Studies in systems, decision and control*; 44. ISBN 978-3-319-26498-1
3. FORD, M. *Roboti nastupují: automatizace, umělá inteligence a hrozba budoucnosti bez práce*. Praha: Rybka Publishers, 2017, 377 stran. ISBN 978-80-87950-46-3
4. BENEŠ, P. a kol. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 304 s. ISBN 978-80-251-3747-5

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Konzultant diplomové práce: Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
Katedra konstruování strojů  
Datum zadání diplomové práce: 24. září 2018  
Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2019

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 24. září 2018

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Michalu Šimonovi, Ph.D. a Ing. Pavlu Raškovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a připomínky, které mi byli ochotni poskytnout při tvorbě diplomové práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTHOR</b>	<b>Příjmení</b> Froněk	<b>Jméno</b> Michael	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301T007 Průmyslové inženýrství a management		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Šimon, Ph.D.	<b>Jméno</b> Michal	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Využití snímacích systémů v průmyslové automatizaci		

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZDÁNÍ</b>	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------------	------

### POČET STRÁNEK (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	58	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	58	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Práce se zabývá průmyslovou automatizací, zejména průmyslovými roboty. V teoretické části jsou popsány možnosti automatizace a typy senzorových řešení. V praktické části je popsána tvorba robotického programu s využitím snímacích systémů. V závěru jsou provedeny testy spolehlivosti systému za určitých podmínek a provedena analýza za účelem určení okrajových podmínek.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Automatizace, robot, proces, senzor, program, vision, robotika

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Froněk	Name Michael	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301T007 Industrial engineering and management		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Šimon, Ph.D.	Name Michal	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Use of sensing systems in industrial automation		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KPV	<b>SUBMITTED IN</b>	2019
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	58	<b>TEXT PART</b>	58	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The thesis deals with industrial automation, especially with industrial robots. The theoretical part describes the possibilities of automation and types of sensor solutions. The practical part describes the creation of a robotic program using sensing systems. In conclusion, tests are performed under certain conditions and analysis is performed to determine boundary conditions
<b>KEY WORDS</b>	Automation, robot, proces, sensor, program, vision, robotics

## Obsah

Seznam obrázků .....	10
Úvod .....	12
1 Automatizovaný výrobní a montážní proces.....	13
1.1 Automatizované systémy.....	13
1.2 Klady a zápory automatizovaných systémů .....	14
1.3 Typy automatizačních systémů .....	15
1.3.1 Pevná automatizace .....	15
1.3.2 Programovatelná automatizace .....	16
1.3.3 Flexibilní automatizace .....	17
2 Možnosti automatizace.....	18
2.1 Vynucená automatizace .....	18
2.2 Ekonomicky zdůvodněná automatizace .....	18
2.3 Další případy automatizace .....	19
2.4 Rozdělení automatizace dle velikosti zásahu do výrobního systému.....	19
2.4.1 Velká automatizace .....	19
2.4.2 Malá automatizace.....	20
3 Analýza použitelných snímacích systémů.....	22
3.1 Indukční senzory.....	23
3.2 Magnetické senzory .....	24
3.3 Ultrazvukové senzory .....	24
3.4 Optické senzory .....	25
3.4.1 Konvenční optika .....	26
3.4.2 2D Vision .....	27
3.4.3 3D Vision .....	27
4 Experimentální pracoviště.....	29
4.1 Základní prvky robotického systému .....	30
4.2 Nastavení zátěže na zápěstí .....	32
4.3 Nastavení funkce contact-stop.....	32
5 Použité senzory a kamerový systém.....	34
5.1 Senzory .....	34
5.2 Kamerový systém iRVision 2D.....	35
6 Tvorba programu.....	38
6.1 Proces vidění.....	40



6.2	Podprogram kontrola zásobníků .....	43
6.3	Pohybové podprogramy odběru puků ze zásobníků a plnění zásobníků puků .....	44
6.4	Programy naplnění a vyprázdnění paletky .....	45
6.5	Hlavní program „RSR001“ .....	46
7	Testování spolehlivosti systému.....	47
7.1	Testování odlišných paletek a záměny zásobníků .....	47
7.2	Experimenty úprav světelné intenzity uprostřed paletky .....	48
7.2.1	Experiment 1 – 2 – 3 .....	49
7.2.2	Experiment 2 – 3 .....	49
7.2.3	Experiment 1 – 2 .....	50
7.2.4	Experiment 1 – 3 .....	50
7.2.5	Experiment 1 .....	51
7.2.6	Experiment 2 .....	51
7.2.7	Experiment 3 .....	52
7.3	Experiment s LED přisvícením .....	52
7.4	Experiment s přisvícením fluorescenční lampou.....	53
7.5	Analýza naměřených hodnot .....	54
Závěr.....		55
Citovaná literatura .....		56

## Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Počet implementovaných průmyslových robotů meziročně celosvětově [2].....	13
Obrázek 1-2: Automatizovaný montážní proces [1] .....	14
Obrázek 1-3: Automatizovaná výroba šroubů [7].....	15
Obrázek 1-4: Automatizovaná kompletace spalovacího motoru [9].....	16
Obrázek 2-1: Robot s nosností 2300kg [12].....	20
Obrázek 2-2: Kolaborativní robot Universal Robots [13].....	21
Obrázek 3-1: Portfolio senzorů [15].....	22
Obrázek 3-2: Princip inteligentních senzorů [14] .....	22
Obrázek 3-3: Indukční senzory [15].....	23
Obrázek 3-4: Magnetický senzor [15].....	24
Obrázek 3-5: Ultrazvukové senzory [15] .....	25
Obrázek 3-6: Princip optického senzoru [14] .....	26
Obrázek 3-7: Delta roboty s 2D Vision systémem [12] .....	27
Obrázek 3-8: 3D area sensor [12] .....	28
Obrázek 4-1: Experimentální pracoviště.....	29
Obrázek 4-2: Řídící jednotka .....	30
Obrázek 4-3: Zápěstí robotické paže.....	30
Obrázek 4-4: Ovládací pendant.....	31
Obrázek 4-5: Grafické rozhraní ovládacího pendantu .....	31
Obrázek 4-6: Payload Calculator .....	32
Obrázek 4-7: Zadané hodnoty zátěže na zápěstí .....	32
Obrázek 4-8: Nastavení limitu vnější síly a síly k vysvobození .....	33
Obrázek 4-9: Payload change distance.....	33
Obrázek 5-1: Čidla – digitální vstupy .....	34
Obrázek 5-2: Instalované indukční čidlo .....	34
Obrázek 5-3: Instalované optické čidlo.....	35
Obrázek 5-4: Internetové prostředí .....	35
Obrázek 5-5: Nastavení kamery .....	36
Obrázek 5-6: Nastavení kalibrace .....	37
Obrázek 5-7: Kalibrační mřížka .....	37
Obrázek 6-1: Struktura logiky programu .....	38
Obrázek 6-2: Pohyb robota .....	38
Obrázek 6-3: Vytvoření procesu vidění .....	40

Obrázek 6-4: Základní nastavení procesu vidění .....	40
Obrázek 6-5: Naučený tvar .....	41
Obrázek 6-6: Kontrola zachycení všech kruhů .....	41
Obrázek 6-7: Odstín naučených barev .....	41
Obrázek 6-8: Přiřazení ID zachyceným barvám .....	42
Obrázek 6-9: Levá dvojice zásobníků .....	42
Obrázek 6-10: Pravá dvojice zásobníků .....	43
Obrázek 6-11: Podprogram kontrola zásobníků - větvení podle barvy .....	43
Obrázek 6-12: Podprogram kontrola zásobníků – logika pro modrý zásobník.....	44
Obrázek 6-13: Podprogram odběru puků ze zásobníků pro modrou barvu .....	44
Obrázek 6-14: Podprogram naplnění zásobníků .....	45
Obrázek 6-15: Podprogram naplnění paletky.....	46
Obrázek 6-16: Hlavní program .....	46
Obrázek 7-1: Ukázky variant rozložení plošek na paletkách.....	47
Obrázek 7-2: Záměna zásobníků.....	47
Obrázek 7-3: Osvětlení.....	48
Obrázek 7-4: Luxmetr .....	48
Obrázek 7-5: Experiment standartní osvětlení .....	49
Obrázek 7-6: Experiment 2 – 3 .....	49
Obrázek 7-7: Experiment 1 – 2 .....	50
Obrázek 7-8: Experiment 1 - 3.....	50
Obrázek 7-9: Experiment 1 .....	51
Obrázek 7-10: Experiment 2 .....	51
Obrázek 7-11: Experiment 3 .....	52
Obrázek 7-12: Experiment s LED přisvícením.....	52
Obrázek 7-13: Experiment fluorescenční lampa (1) .....	53
Obrázek 7-14: Experiment fluorescenční lampa (2) .....	53
Obrázek 7-15: Vyhodnocení experimentů .....	54

## Úvod

V dnešní době dochází k rostoucímu zájmu o využívání automatických výrobních zařízení, a to především kvůli neustále rostoucímu tlaku na zvýšení produktivity a kvality výroby. Dalším důvodem je například zvýšení konkurenceschopnosti firem a jejich udržení na finančním trhu. Díky automatizaci dochází ke změnám ve výrobních, technologických a celkově v logistických procesech, a to nejen ve strojírenství, ale i v dalších sektorech. V rámci automatizace jak celých procesů, tak jednotlivých úkonů v procesech se v různých odvětvích čím dál více prosazují především manipulátory a roboty. Zvyšování efektivity, kvality a produktivity práce nelze bez modernizace, rekonstrukce a automatizace výrobních zařízení zajistit.

Cílem práce na téma Využití snímacích systémů v průmyslové automatizaci je vytvoření robotických programů naplnění a vyprázdnění barevných paletek puky odpovídající barvy pomocí kolaborativního robotu s využitím snímacích systémů a následně ověřit jejich spolehlivost za určitých podmínek.

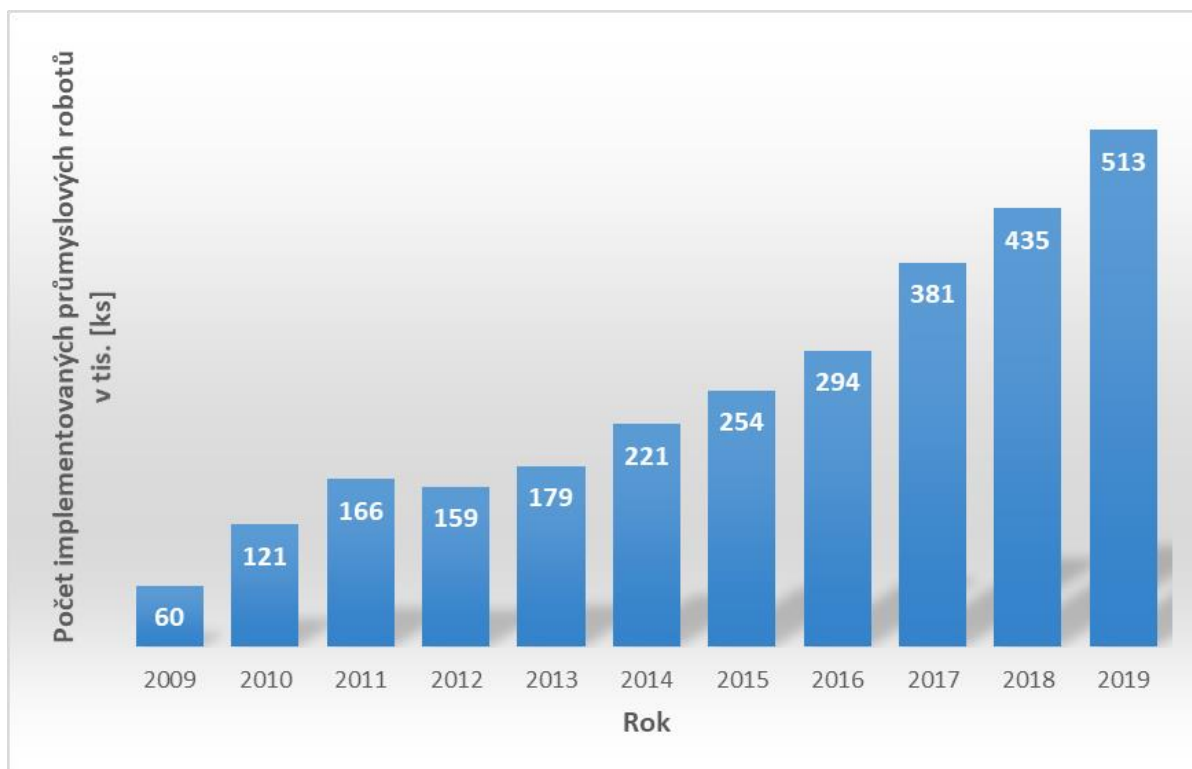
V úvodní části jsou nejprve popsány principy automatizace, automatizované systémy, jejich typy a jejich výhody a nevýhody. V následující části jsou definovány možnosti automatizace a důvody k ní vedoucí. V neposlední řadě je automatizace rozdělena z hlediska velikosti zásahu do stávajícího systému.

Pro splnění cíle práce je nejprve provedena analýza použitelných snímacích systémů. Tato část práce je rozdělena na senzorová a vizuální řešení. Tato kapitola má za úkol zjistit, na jakém principu jednotlivé systémy pracují a jaké jsou jejich výhody a omezení. Následuje tvorba vlastního robotického programu, který pracuje s informacemi získanými pomocí snímacích systémů. Robotický program zahrnuje logické a manipulační podprogramy, díky kterým je docílena automatizace celého pracovního procesu naplnění a vyprázdnění paletek.

Závěrečná část této práce popisuje způsoby, jakými bylo provedeno testování celého systému. Na základě výsledků experimentů byla provedena analýza spolehlivosti snímacích systémů, které zásadně ovlivňují funkčnost systému.

# 1 Automatizovaný výrobní a montážní proces

Pokud se zamyslíme nad futuristickými výrobními zařízení a procesy, může přijít do mysli automatizace v prostředí sci-fi, kde nejsou přítomni lidé a výrobní linky jsou řízeny z druhé strany planety Země. V takových systémech jsou všechny části plně autonomní, plní úkoly s neuvěřitelnou přesností, nepotřebují spát, nepotřebují občerstvení, neplývají, zkrátka jsou to ideální pracovníci, které si každý výrobce přeje. Jelikož nás tempo růstu technologií rychle přenáší do skutečné budoucnosti, výrobci se musí pozastavit, aby prozkoumali účel automatizace a nejlépe řídili její směr. Ve všech průmyslových odvětvích se technologie vyvíjí stále silněji, a proto je třeba stále sofistikovanějších řešení problémů. Rychlost pokroku lze popsat jednoduchým srovnáním. Na začátku třetího tisíciletí si lidé nemohli představit celou řadu programů a služeb, jako jsou videokonference, cloudová úložiště, virtuální realita nebo v neposlední řadě aplikace pro chytré telefony. Ve výrobním procesu by si málokdo představil ucelený výrobní systém počínaje autonomními zaskladňovacími systémy přes zcela automaticky fungující obráběcí centra a robotizované montážní linky po expedici, který si vystačí s jedním komplexním programem a vyrobené zboží bezchybně nalezne svého koncového uživatele. Strmý nárůst automatizace lze popsat dle celosvětového počtu průmyslových robotů, které jsou jedním ze základních stavebních kamenů automatizačního procesu. Z následujícího grafu lze vypočítat začínající meziroční exponenciální trend v počtu dodaných průmyslových robotů, který naplno vystihuje směr, kterým se současný průmysl ubírá – viz Obrázek 1-1. [1]



Obrázek 1-1: Počet implementovaných průmyslových robotů meziročně celosvětově [2]

## 1.1 Automatizované systémy

Automatizované systémy zvyšují efektivitu výroby v továrnách a snižují časovou náročnost výrobních operací. Zároveň tyto systémy zkvalitňují pracovní podmínky a zvyšují jejich bezpečnost. Tvoří také nepostradatelnou jednotku v oblasti kontroly kvality. Zaměstnanci by

museli vynaložit mnohonásobně více úsilí, aby dosáhli za směnu to, co nyní mohou dosáhnout s automatizovanými průmyslovými systémy. Výroba by byla celkově mnohem obtížnější a nebezpečnější. [3]



Obrázek 1-2: Automatizovaný montážní proces [1]

Automatizované výrobní systémy se nyní staly normou pro masové výrobce. Maximální výkon a efektivita se staly zlatým standardem pro dodavatele a cokoli méně bude mít za následek ztrátu termínů a ztrátu zisku v důsledku pomalé, neefektivní výroby. Cílem automatizovaných průmyslových systémů je udržovat špičkovou ziskovost v uzavřeném výrobním závodě. Nyní je také nezbytné správně zavést automatizované výrobní systémy s cílem zvýšit výrobu a snížit náklady. Průmyslová technologie je daleko za hranicí používání systému "one size fits all". Je důležité, aby byla realizována vlastní řešení s cílem dosáhnout maximálního zisku. [3]

## 1.2 Klady a zápory automatizovaných systémů

Výhody automatizovaných výrobních systémů jsou podstatné, jakmile jsou implementovány, ale je otázkou, zda stojí za velké počáteční investice. V následující části jsou popsány výhody a nevýhody implementace automatizace průmyslových procesů. [4]

Výhody:

- Bezpečnost
- Zvýšená produktivita
- Zlepšení kvality produktu
- Vyšší výnosy
- Přesnější sběr dat

Nevýhody:

- Náklady na počáteční investici



- Výměna náhradních dílů
- Nutnost servisu

Nejen, že automatizované průmyslové systémy zvyšují výrobní kapacitu, ale zlepšuje se kvalita této výroby spolu s větší bezpečností obsluhy zařízení. Tyto systémy mohou být také nakonfigurovány tak, aby poskytovaly přesnější údaje pro optimalizaci slabých míst a výrazně snížily vady produktů v důsledku lidské chyby. [5]

Největší nevýhodou pro implementaci automatizovaných výrobních systémů jsou počáteční náklady. To zahrnuje náklady na strojní zařízení, nastavení komunikace mezi periferiemi a naprogramování činností, stejně jako školení zaměstnanců o správě těchto nových systémů. Avšak návratnost těchto investic se pohybuje okolo několika let. [5]

### 1.3 Typy automatizačních systémů

Typy automatizačních systémů lze rozdělit do následujících tří kategorií. [6]

#### 1.3.1 Pevná automatizace

Jedná se o systém, v němž je sekvence operací určena konfigurací zařízení. Operace v sekvenci jsou obvykle jednoduché. Jedná se o integraci a koordinaci mnoha takových operací do jednoho zařízení, které činí systém složitým. Typické vlastnosti pevné automatizace jsou:

- Vysoká počáteční investice pro vybavení na zakázku
- Vysoké produkční sazby
- Poměrně nepružný při přizpůsobování změn produktu. [6]

Ekonomické odůvodnění fixní automatizace se nachází ve výrobcích s velmi vysokými nároky na spotřebu a objemy. Vysoká počáteční cena zařízení může být rozložena na velmi velký počet jednotek, což činí jednotkové náklady atraktivní ve srovnání s alternativními způsoby výroby. Příklady pevné automatizace zahrnují mechanizované montážní a obráběcí přenosové linky. Pevná automatizace je v současné době synonymem hromadné a velkosériové výroby. [6]

Za příklad pevné automatizace lze považovat výrobu šroubů. Vyznačuje se tím, že celý cyklus doprovázejí jednoúčelové stroje, které jsou striktně určeny pro jednu činnost a nejsou schopny provozovat jinou činnost bez zásadního zásahu do konstrukce stroje. Tato výroba je schopna produkovat tisíce i více kusů denně. Na následujícím snímku lze vidět šrouby opouštějící výrobní systém na pásovém dopravníku – viz Obrázek 1-3. [6]



Obrázek 1-3: Automatizovaná výroba šroubů [7]

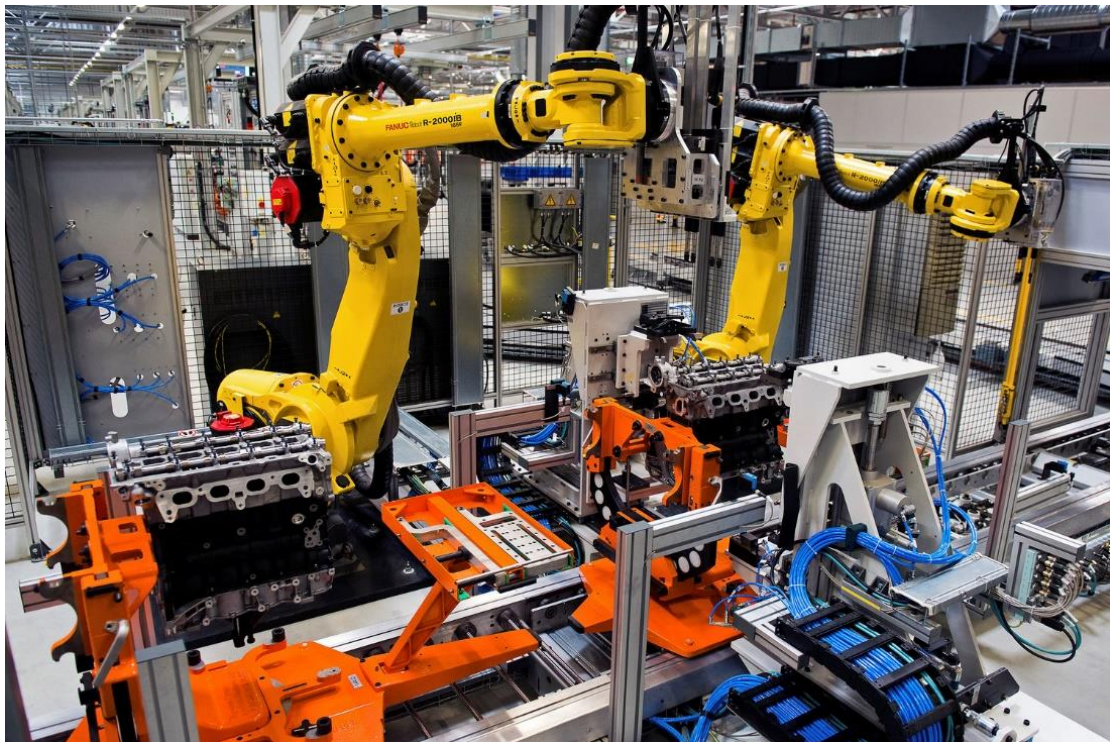
### 1.3.2 Programovatelná automatizace

V tomto případě je výrobní zařízení navrženo tak, aby bylo možné měnit pořadí operací tak, aby vyhovovaly různým konfiguracím produktu. Operační sekvence je řízena programem, který obsahuje sadu instrukcí kódovaných tak, že je systém může číst a interpretovat. K výrobě nových produktů lze připravit nové programy a vložit je do zařízení. Některé funkce, které charakterizují programovatelnou automatizaci, jsou:

- Vysoká investice do zařízení pro všeobecné účely
- Nízká produkční sazba ve vztahu k pevné automatizaci
- Flexibilita při řešení změn v konfiguraci produktu
- Nejvhodnější pro výrobu šarží. [6]

Automatizované výrobní systémy, které jsou programovatelné, se používají v nízkém a středním objemu výroby. Části nebo výrobky jsou obvykle vyráběny v dávkách. K výrobě každé nové dávky jiného výrobku musí být systém přeprogramován sadou strojních pokynů, které odpovídají novému produktu. Musí se také měnit fyzické nastavení stroje: Musí být načteny informace o nástrojích, musí být připevněny přípravky ke stolu stroje a musí být také změněno nastavení stroje. Tento postup přechodu trvá déle. V důsledku toho typický cyklus daného produktu zahrnuje dobu, během níž probíhá nastavení a přeprogramování, po němž následuje období, ve kterém se vyrábí dávka. Příklady programované automatizace zahrnují numericky řízené obráběcí stroje a průmyslové roboty. [8]

Příkladem programovatelné automatizace je montáž spalovacích motorů, kdy je robot schopen provádět několik činností s bezkonkurenční rychlostí – viz Obrázek 1-4. V případě změny sortimentu nebo činností lze robot pouze přeprogramovat na nové podmínky bez nutnosti zásahu do jeho mechanismů či elektro zapojení. [8]



Obrázek 1-4: Automatizovaná kompletace spalovacího motoru [9]



### 1.3.3 Flexibilní automatizace

Jedná se o rozšíření programovatelné automatizace. Flexibilní automatizovaný systém je takový, který dokáže vyrábět celou řadu produktů a prakticky neztrácí čas při přechodu od jednoho produktu k druhému. Při přeprogramování systému a při změně fyzického nastavení stroje nedochází ke ztrátě výrobního času. V důsledku toho systém může vyrábět různé kombinace a plány výrobků místo toho, aby vyžadoval výrobu oddělených dávek jednotlivých výrobků. Vlastnosti flexibilní automatizace lze shrnout takto:

- Vysoká investice pro zákaznický systém
- Průběžná výroba proměnných směsí produktů
- Míry střední produkce
- Flexibilita pro řešení změn návrhu výrobku [6]

Základní funkce, které rozlišují flexibilní automatizaci od programovatelné automatizace, jsou:

- Schopnost měnit dílčí programy bez ztráty času výroby
- Schopnost přepnout fyzické nastavení, opět bez ztráty času výroby [6]

Tyto funkce umožňují automatickému výrobnímu systému pokračovat v produkci bez přestávek mezi dávkami, které jsou charakteristické pro programovatelnou automatizaci. Změna dílčích programů se obecně provádí přípravou programů off-line v počítačovém systému a elektronickým přenosem programů do automatizovaného výrobního systému. Proto čas potřebný k programování pro další úlohu nepřerušuje výrobu na aktuální úlohu. Pokroky v technologii počítačových systémů jsou z velké části zodpovědné za tuto programovací schopnost v pružné automatizaci. Změna fyzického uspořádání mezi jednotlivými částmi se provádí tak, že přepnutí probíhá mimo provoz a současně se přemístí na místo, zatímco další část se dostane do pozice pro zpracování. Použití paletových přípravků, které drží součásti a přenáší se na pracovní místo, je jedním ze způsobů implementace tohoto přístupu. Aby byla flexibilní automatizace úspěšná, je nutné zajistit zpravidla omezenější rozmanitost součástí než v systému řízeném programovatelnou automatizací. [6]

## 2 Možnosti automatizace

Při myšlenkách na automatizaci je nutné zvážit, zda bude mít automatizace kýžený výsledek. Zároveň je nezbytné provést studie proveditelnosti z ekonomického hlediska. Je nutné definovat, které výhody chceme automatizací dosáhnout, a kterých negativních vlastností současného neautomatizovaného výrobního systému se chceme zbavit, respektive minimalizovat je. Mezi tyto negativní činitele mohou patřit vysoké náklady na pracovní sílu, nedostatek kvalifikovaných pracovníků, nedostatečná bezpečnost práce, vysoké režijní náklady, apod. Důvody, které vedou k rozhodnutí automatizovat lze rozdělit do několika skupin. [10]

### 2.1 Vynucená automatizace

V případech, kdy je práce člověka nahrazena automatem, z důvodu určitých skutečností. Takové důvody k náhradě účasti člověka na procesech automaty, mohou být následující:

- Bezprostřední přítomnost představuje pro člověka nebezpečí (často smrtelné), např. práce ve velkých hlubinách, u manipulace s vysoce radioaktivními materiály, práce spojené s nebezpečím výbuchu, práce za extrémně vysokých teplot.
- Přímá účast člověka mu způsobuje fyzickou únavu nebo na něho proces působí jinak nepříznivě (teplo, prach, vlhko, otřesy, hluk) s možnými zdravotními následky – např. práce u vysokých pecí, v dolech, cementárnách, chemických provozovnách, apod.
- Činnost člověka je příčinou chyb, jejichž následky vedou ke značným ztrátám nebo jsou značně nepříznivé. Např. automatická navigace letadel v mlze při přistávání.
- Člověk není schopen vykonávat potřebnou činnost z hlediska přesnosti, rychlosti, rozsahu nebo jiných příčin. Jedná se o případy řízení raket, výroby čipů nebo ovládání parních a spalovacích turbín.
- Musíme použít automatické zařízení, protože z různých důvodů nemůže být přítomen člověk, který by mohl dané činnosti vykonávat. Jako příklad lze uvést simulátor srdce, automatické signalizační bóje v moři nebo kosmické sondy.
- Automatické stroje vykonají požadované úkony s vyšší jakostí než člověk. Příkladem mohou být svařovací či lakovací průmyslové roboty. Ty jsou schopné vést pohyb mnohem rovnoměrněji a přesněji, čímž vytvářejí kvalitnější finální podobu výrobku
- Není možné si dovolit vázat tolik lidské práce, např. automatické vydávání jízdenek, automatická počítadla počtu aut na parkovišti a tím počet volných míst nebo automaty s občerstvením, které jsou schopné obsluhovat zákazníky v jakýkoliv okamžik. [10]

### 2.2 Ekonomicky zdůvodněná automatizace

Z hledisek tržní ekonomiky lze vycházet z následujících důvodů:

- Využití automatického stroje představuje snížení jednotkových a režijních nákladů ve srovnání s neautomatizovanou výrobou. Zvláště se jedná o mzdové náklady na pracovní sílu a úspory materiálu (stroj pracuje přesněji, a proto produkuje méně odpadu).
- Použití automatického pojetí výroby umožňuje zvýšení produktivity práce a objemu výroby, takže jsme schopni vyrobit více za méně času v porovnání s neautomatizovanou výrobou.
- Použití automatizačního zařízení umožňuje snížení nákladů na výrobní plochy, skladovací prostory, opotřebování strojů, administrativní práce a spotřebu energie.

- Automatizace podporuje zkrácení průběžné doby výroby a vývoje. Díky automatizaci je možné získat konkurenční výhodu před ostatními.
- Automatizací lze pružněji vyhovět přáním zákazníka a získat si ho tak pro koupi dalších výrobků.
- Automatickými stroji lze dodat výrobkům určité funkční vlastnosti vítané zákazníkem, takže se výrobek prodá většímu okruhu zákazníků.
- Je možné automatizací dosáhnout nadstandartní jakosti, která se může promítnout do zvýšené ceny výrobku.
- Díky automatizovaným vnitřním informačním systémům lze získat jistou konkurenční výhodu. Jedná se o rychlejší přístup k informacím, o potřebách zákazníka nebo rychlejší nápravy problému. [10]

### 2.3 Další případy automatizace

Mimo vynucené a ekonomicky zdůvodněné automatizace lze popsat následující důvody:

- Prestiž jednotlivých firem či institucí, které chtějí dokumentovat své konstrukční, technické nebo finanční schopnosti a možnosti
- Snaha zajistit člověku pohodlí, jako příklad lze uvést např. veškerá dálková ovládání spotřebičů nebo elektronických zařízení, které může používat i neodborník
- Snaha zajistit nadstandartní přísun informací o stavech výrobních zařízení, výrobních podmínkách, chybách apod.
- Zabezpečení ekologického standartu, kterého lze pomocí automatizace docílit bez jakýchkoliv omezení. Jedná se o různé monitorovací systémy, řízení optimálního spalování pro docílení minimálních emisních hodnot apod.
- Automatizace může být také zdrojem a předmětem zábavy, např. automatická losovací zařízení, hrací automaty, simulátory sportovních her apod. [10]

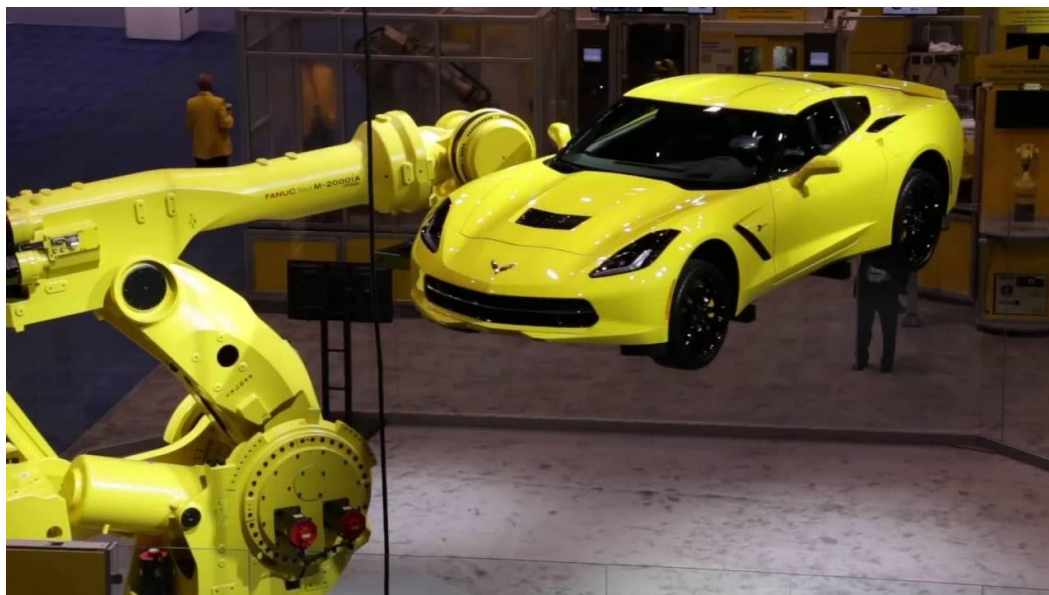
### 2.4 Rozdělení automatizace dle velikosti zásahu do výrobního systému

Automatizaci lze implementovat ve všech možných objemech. Počínaje automatizací jednotlivých úkonů pomocí jednoduchých zařízení či průmyslových robotů po komplexní řešení výrobního procesu s využitím komunikace mezi výrobními a obráběcími stroji, manipulátory a logistickými prvky, jako jsou dopravníky a vozíky. S rostoucím objemem automatizace rostou pořizovací náklady a doba návratnosti, avšak v dlouhodobém pojetí se jedná o nejvíce profitující projekty.

#### 2.4.1 Velká automatizace

Automatizace považovaná za velkou se opírá o instalaci klasických průmyslových robotů. Tyto roboty mají většinou hmotnost přesahující 50kg. Jsou instalovány v kombinaci se sofistikovaným bezpečnostním systémem, který je tvořen především bezpečnostními ploty, ale také optickými závorami, čidly a prvky kontrolujícími všechny aspekty výrobního či montážního procesu. Jedná se o automatizace manipulačních, svařovacích, povrch upravujících, paletizačních nebo řezacích procesů. Vzhledem k nutnosti zajistit bezpečnost pomocí plotů jsou s výhodou instalovány větší skupiny robotů úzce napojeny na dopravníkové systémy, výrobní stroje, čistící stroje apod. Instalace zapadající do skupiny velkých automatizací jsou ve většině případů záležitostí investice v řádech milionů Kč, proto jsou výhradně voleny ve velkosériových výrobcích, kde je možné dosáhnout návratnosti investice

během několika let či dříve. Pro tyto instalace jsou možné pouze minimální úpravy vyráběných výrobků, a to především z důvodu mechanických schopností celého systému. Roboty jsou instalovány dle požadovaných nosností a dosahů, proto nelze změnit výrobu z pohledu hmotnosti nebo velikosti výrobku. Pokud jsou i přes změnu zachovány fyzikální vlastnosti, většinou se nelze vyhnout úpravám uchopovacích prvků, přípravků ve strojích, na dopravnících apod. Jakákoliv změna automaticky generuje náklady spojené s úpravou mechanických prvků, případně elektroniky a pneumatiky. [11]



Obrázek 2-1: Robot s nosností 2300kg [12]

Klasické průmyslové roboty disponují bezkonkurenčními parametry, které nelze docílit pomocí pracovníků. Tyto parametry lze popsat na několika příkladech:

- Maximální rychlost: 6 m/s
- Maximální nosnost: 2300 kg
- Maximální dosah: kruh okolo základny s poloměrem 4683 mm
- Schopnost pracovat v život ohrožujících podmínkách

#### 2.4.2 Malá automatizace

Na rozdíl od velké se malá automatizace vyznačuje jednoduchým nenáročným charakterem výrobního či montážního procesu. Je postavena na kolaborativních respektive spolupracujících robotech a má své uplatnění ve smíšené výrobě, kde se produkují malé série vysoce individualizovaných produktů. Jsou ideální pro automatizaci dílčích procesů, u kterých je zároveň přítomen člověk. Hlavními vlastnostmi kolaborativních robotů jsou pomalejší rychlosti a schopnost zastavit při kontaktu s člověkem. Princip této schopnosti zastavit tkví v porovnání vypočítané zátěže na robotické rameno s hodnotami získanými pomocí senzoru, který je součástí základny. Díky těmto vlastnostem odpadá nutnost bezpečnostních plotů a dalších prvků. Kolaborativní roboty velikostně simulují stojícího nebo sedícího člověka a jedná se o finančně přijatelnou automatizaci často se opakujících jednoduchých až triviálních úkonů. Vzhledem k tomu že se celý obor kolaborativních robotů nachází zatím poměrně v plenkách, je legislativa kolaborativů značně nekompletní a vlastně nikdo neví jak řešit například skřípnuté prsty mezi chapadlo robota a část výrobku. Problémem je, že robot sice zastaví, ale až poté co detekuje přetížení a to už může být pozdě. [11]



Obrázek 2-2: Kolaborativní robot Universal Robots [13]

Hlavními výhodami kolaborativních robotů jsou:

- Jednodušší manipulace
- Flexibilita
- Jednodušší programování
- Minimalizace bezpečnostních prvků

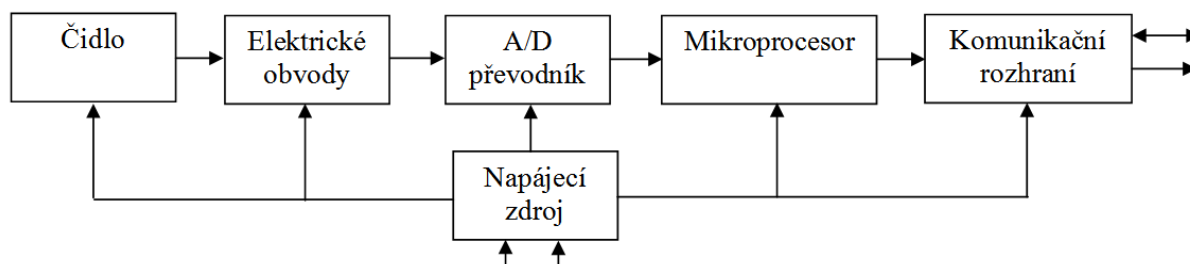
### 3 Analýza použitelných snímacích systémů

Skutečnost, že se bez automatizace dnešní průmyslová výroba neobejde, ví dnes každý. Současný stav automatizace je dán vítězným tažením počítačové techniky, která disponuje řídicími systémy, programovatelnými automaty apod. Zároveň málokdo nezasvěcený ví, že veškerá automatizační technika by byla bezmocná bez snímačů obecně nazývaných senzory. Tyto senzory dávají systému informace o stavu celého technologického prostředí, např. o tlaku, teplotě, vzdálenosti nebo odpověď na otázku typu Boolean ano či ne. [14]



Obrázek 3-1: Portfolio senzorů [15]

Senzory využívají ke své činnosti různé metody a principy. Podle těchto principů jsou také v praxi označovány. Mezi nejpoužívanější patří indukční, magnetické, ultrazvukové, optické, mechanické apod.



Obrázek 3-2: Princip inteligentních senzorů [14]

Během rozvoje elektroniky a elektronických obvodů pro zpracování signálů došlo k vývoji inteligentních senzorů. Spojením čidel s navazujícími integrovanými obvody na křemíkovém čipu vznikají tyto inteligentní senzory. Zahrnují v sobě čidlo, elektrické obvody pro úpravu signálu, analogově digitální převodník, mikroprocesor a obvody pro obousměrnou komunikaci. [16]

### 3.1 Indukční senzory

Jsou jedním z nejrozšířenějších řešení snímání přiblížení nebo přítomnosti. Jsou odolné vůči vlivům provozního prostředí díky uzavřenému pouzdru. Pracují bezdotykově a bez zpětného působení. Indukční senzory jsou zcela polovodičové prvky, které pracují s vysokou spínací frekvencí. Mají takřka neomezenou životnost, pokud nedojde k jejich mechanickému poškození. Typicky jsou využívány jako náhrada mechanických koncových spínačů nebo jako hlásiče polohy akčního členu (pohonu, ventilu), přítomnosti dílu, počtu kusů a regulace polohy či rychlosti. [14]



Obrázek 3-3: Indukční senzory [15]

Jejich princip fungování je založen na cívce a oscilátoru, který vytváří elektromagnetické pole v blízkém okolí snímací plochy. Pokud je kovový předmět přítomen v této provozní oblasti, tak je sensor schopen vyhodnotit díky ztlumení amplitudy oscilace, že se v oblasti kovový předmět opravdu nachází. Pracovní vzdálenost snímače závisí na tvaru a velikosti pohonu a zároveň je závislá na povaze materiálu. [14]

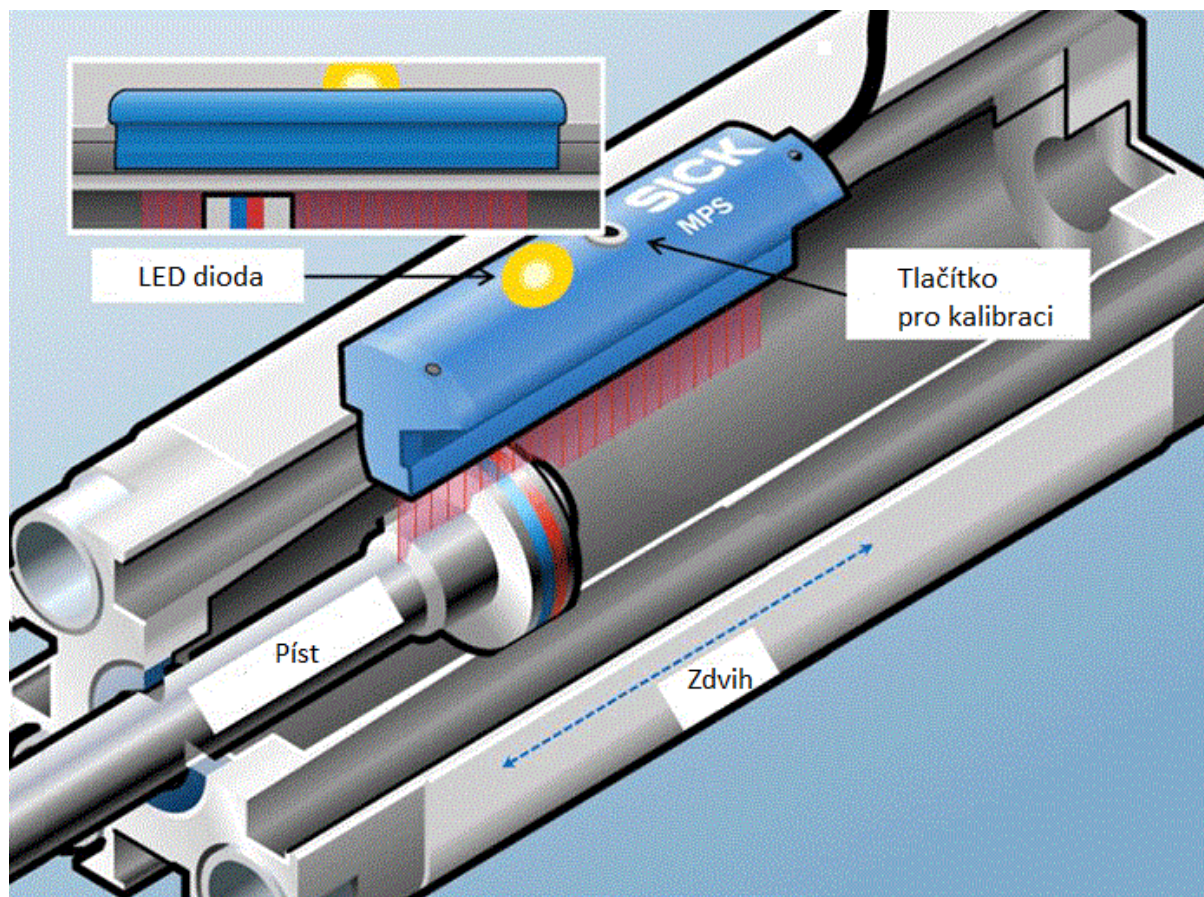
Indukční senzory lze dále rozdělit na:

- Válcové a kvádrové
- Zářezové
- Kruhové
- Odolné vůči magnetickému poli
- Selektivní
- Se zabudovaným vyhodnocením otáček
- Analogové



### 3.2 Magnetické senzory

Magnetické snímače detekují změny a poruchy v magnetickém poli, jako je proudění, síla a směr. Magnetické senzory jsou rozděleny do dvou skupin, které měří celé magnetické pole a ty, které měří vektorové složky pole. Vektorové komponenty jsou jednotlivé body magnetického pole. Techniky používané k vytváření těchto senzorů zahrnují různé kombinace fyziky a elektroniky. [14]



Obrázek 3-4: Magnetický senzor [15]

Zdrojem magnetického pole může být buď trvalý magnet, který je umístěn na snímaném předmětu nebo méně často na senzoru pod čelní plochou. V tom případě je podmínkou, aby byl snímaný předmět feromagnetický. Mezi nejčastější aplikace patří snímání hladin kapalin a sypkých materiálů, snímání poloh pneumatických válců nebo jednoduché identifikace.

Magnetické senzory lze dále rozdělit na:

- Senzory s Hallovou sondou
- Magnetorezistivní sondy
- Senzory s nasycovacím jádrem cívky

### 3.3 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory měří vzdálenost pomocí ultrazvukových vln. Hlava snímače vydává ultrazvukovou vlnu a přijímá vlnu odraženou zpět od cíle. Fungují tak, že snímače měří vzdálenost k cíli tím, že měří čas mezi emisí a příjmem. V ultrazvukovém snímači s reflexním modelem vydává jediný oscilátor a přijímá střídavě ultrazvukové vlny.



To umožňuje miniaturizaci hlavy snímače. Zároveň jsou využívány jako závory, kdy je pevně dán bod vysílače i přijímače a jakékoliv narušení tohoto pole je vyhodnoceno jako chyba respektive nežádoucí objekt v prostoru závory. [17]



Obrázek 3-5: Ultrazvukové senzory [15]

Ultrazvukové senzory jsou především využívány pro měření vzdálenosti. Příkladem lze uvést instalaci čidla na koncový prvek robotického chapadla v aplikacích pro paletizaci a manipulaci nastohovaných kusů. Díky čidlu je robot schopen provést pohyb do určité výšky nad kus bez nutnosti složitých výpočtů výškové polohy jednotlivých kusů.

### 3.4 Optické senzory

Fotoelektrické snímače detekují objekty, změny povrchových podmínek a další položky prostřednictvím různých optických vlastností. Fotoelektrický snímač se skládá především z emitoru pro emise světla a přijímače pro příjem světla. Když je vysílané světlo přerušované nebo odražené snímacím objektem, změní se množství světla, které přichází na přijímač. Přijímač detekuje tuto změnu a přemění ji na elektrický výstup. Zdroj světla pro většinu fotoelektrických čidel je infračervené nebo viditelné světlo nejčastěji červené. [14]

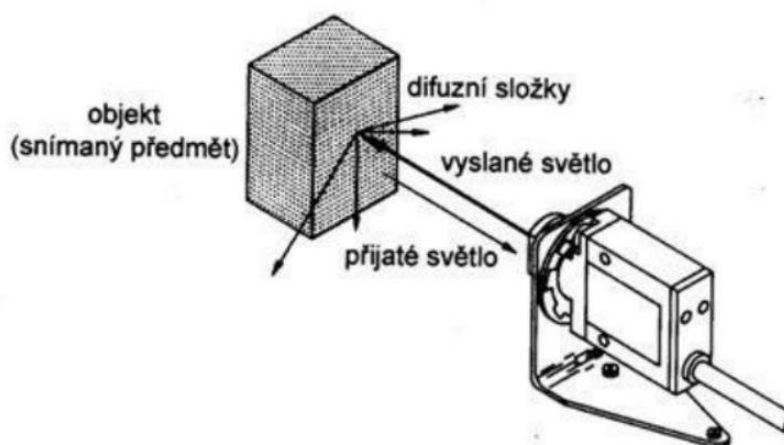
### 3.4.1 Konvenční optika

Optosenzory lze rozdělit do tří základních skupin:

- reflexní senzory
- reflexní senzory s odrazkou (reflexní závora)
- senzory obsahující oddělený vysílač a přijímač (jednocestná závora)

#### Reflexní senzory

Jsou přímou alternativou k indukčním sensorům přiblížení. Jejich úkolem je zjištění přítomnosti k technologii určenému předmětu. Na rozdíl od indukčních sensorů jsou schopny vzdálenost přesně změřit a zpracovat další optické parametry jako je barva a kontrast. [14]



Obrázek 3-6: Princip optického senzoru [14]

#### Reflexní senzory s odrazkou

Jejich účel je podobného charakteru jako u ultrazvukových sensorů. Jsou používány především jako optické závory, kdy z vysílače vyzařuje světlo směrem na odrazku. Od odrazky je světelný signál odražen zpět do vysílače. Pokud je tento signál přerušen jakýmkoliv předmětem, dojde k aktivování výstupu senzoru. Senzory fungující na tomto principu mají dosah až 10 metrů. [14]

#### Jednocestné závory

Nejjednodušší optosenzorický princip, kdy je paprsek vyzařující z vysílače zachycen v přijímači. Lze s nimi snímat vzdálenost až do 200 metrů, která je podmíněna zaručenou vzájemnou stabilitou mezi oběma prvky. Dokonalého seřízení je možné dokázat pomocí indikace seřízení na přijímači, který je schopen vyhodnotit, zda na něj dopadl maximální světelný výkon vysílače. [14]

### 3.4.2 2D Vision

Tento systém využívá kooperace robota s černobílou nebo barevnou kamerou. Je schopen rozpoznat a lokalizovat výrobky či obrobky bez ohledu na jejich velikost, tvar nebo polohu. Může také číst čárové kódy, třídit podle barev a podporovat manipulaci pružných dílů. Cílem 2D Vision je eliminovat potřebu přípravků a zrychlovat klasicky řešené procesy. Lze jej také využít v procesech kontroly kvality, kde je schopen lokalizovat prvky a určovat správnost jejich polohy apod.



Obrázek 3-7: Delta roboty s 2D Vision systémem [12]

Principem tohoto systému je rozeznání předem definovaných tvarů. Pokud je tvar rozeznán, robotu je vrácena souřadnicová poloha kusu tohoto tvaru. V případě barevné verze je navíc dle barvy rozeznána jeho poloha v RGB spektru. Vzhledem k nemožnému zajištění ideálních světelných podmínek, kamera nikdy nevyhodnotí jednu a tu samou barvu dokonale přesně, proto se využívá tolerancí, např. 5%, která zajistí rozeznání barvy i v nepříznivých podmínkách. Tento systém je předmětem praktické části této diplomové práce a jeho podrobný rozbor v ní bude obsažen.

### 3.4.3 3D Vision

Tento systém umožňuje robotům rozpoznat a vyzvednout náhodně umístěné objekty přímo ze zásobníku polotovárů, obrobků a dalšího volně umístěného materiálu do předem definovaných kontejnerů. Automatizace procesů pomocí této technologie rozpoznávající objekty představuje účinný způsob, jak zvýšit produktivitu a snížit náklady na širokou škálu aplikací pro všeobecné zacházení s materiálem. Bez ohledu na to, zda se jedná o volné, smíšené a nepravidelné předměty nebo pytle určené pro paletizaci, řešení 3D Vision poskytuje efektivní řešení pro manipulaci, které lze rychle přizpůsobit správě různých produktů podle jakýchkoliv objednávek. S uchopovacími zařízeními vhodnými pro manipulaci, depaletizaci, vychystávání a třídění se řadí mezi top produkty v oblasti průmyslové automatizace.



Obrázek 3-8: 3D area sensor [12]

Prostorový snímač 3D používá strukturovanou projekci světla k vytvoření 3D map. Využívá je k identifikaci a výběru dílu na základě toho, jaký si správce integrovaného dílu vybere jako nejrychlejší možnou variantu. Správce dílů je zároveň schopen identifikovat nedosažitelné díly vzhledem ke konstrukci chapadla a stěnám zásobníku.

## 4 Experimentální pracoviště

Praktická část této diplomové práce byla uskutečněna na experimentálním pracovišti pro manipulaci a správné umístění barevných hliníkových puků do silonových paletek s ploškami, jejichž barevné odlišení je pokaždé navrženo jinak – viz Obrázek 4-1. Pracoviště se skládá z pojízdné kvádrové buňky, na níž je instalován pásový dopravník, zásobníky pro čtyři různobarevné puky a robotického systému, který obsahuje řídicí jednotku robota, robotickou paži a ovládací pendant. Na robotické paži je nainstalováno kolaborativní chapadlo a kamera, schopná rozeznávat barevné odstíny.



Obrázek 4-1: Experimentální pracoviště

Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L je zástupcem série kolaborativních robotů jejichž nosnost se pohybuje od 3 kg do 35 kg. Základními vlastnostmi tohoto robota jsou nosnost 7 kg, dosah 911 mm a opakovatelnost 0,01 mm. Jedná se o šestiosou robotickou paži, která je schopna při dosažení ideálních bezpečnostních podmínek vyvinout rychlost 1000 mm/s. Kolaborativní roboty jsou vhodně využívány v aplikacích, kdy je nutná spolupráce s člověkem, která je umožněna skutečností, že robot nemusí být uzavřen v ochranném oplocení. Hlavním benefitem kolaborativních robotů je jejich schopnost zastavit svůj pohyb při kontaktu s cizím předmětem nebo člověkem. Robot je vybaven silovým senzorem, který je instalován v základně robotické paže. Senzor je schopen identifikovat působení vnějších sil a zastavit tak robotickou paži. Aby bylo docíleno správného fungování kolaborativního módu, je nutné zajistit velmi přesné nastavení funkce Contact – Stop. Tato funkce je podmíněna správným nadefinováním zátěže na zápěstí v situacích, kdy se paže pohybuje s prázdným chapadlem a s uchopeným pukem.



## 4.1 Základní prvky robotického systému

### Řídicí jednotka

Tato část systému funguje jako jakýsi mozek. Probíhají v ní veškeré výpočty, nastavení systému, pohybové programy, komunikace se senzory a periferiemi, napájení z elektrické sítě apod. Řídicí jednotka obsahuje přepínač vypnuto/zapnuto, přepínač mezi automatickým a tréninkovým režimem, tlačítko nouzového zastavení a zelené tlačítko pro start programu v automatickém režimu – viz Obrázek 4-2.



Obrázek 4-2: Řídicí jednotka

### Robotická paže

Robotická paže se skládá z výše popisovaného silového senzoru, který je součástí podstavy, šestiosého mechanismu, jehož pohyb je uskutečňován pomocí servomotorů umístěných v každém kloubu a zápěstí, na němž je uchyceno kolaborativní chapadlo a kamera. Prsty kolaborativního chapadla jsou vyrobeny z mosazi a uzpůsobeny pro uchopení kulatých puků o průměru 50 mm – viz Obrázek 4-3. Veškerá komunikace řídicí jednotky s chapadlem a kamerou probíhá pomocí konektorů umístěných na předloktí paže.



Obrázek 4-3: Zápěstí robotické paže

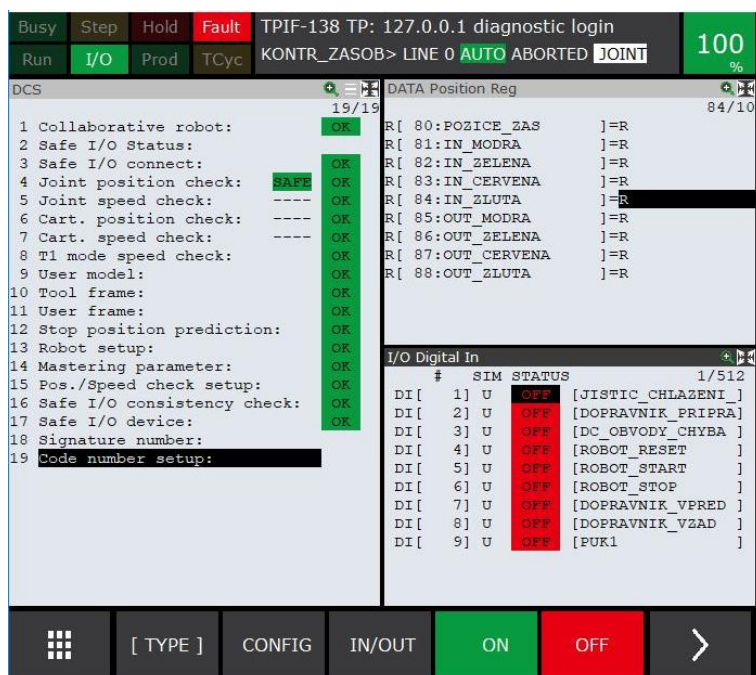
## Ovládací pendant

Pomocí ovládacího pendantu je uskutečňováno veškeré nastavení a programování systému – viz Obrázek 4-4. Ovládání pendantu je velice intuitivní a jednoduché. Pendant je vybaven jak tlačítkovou klávesnicí, tak dotykovým displejem, který přispívá ke komfortu při ovládání robota. Na tlačítkové klávesnici lze nalézt kurzorové klávesy, numerickou klávesnici, tlačítka pro pohyb se všemi šesti osami a funkčními tlačítky, jejichž funkce je proměnlivá dle situace.



Obrázek 4-4: Ovládací pendant

Displej lze rozdělit do tří menších oken, díky čemuž je urychleno ovládání za situací, kdy je nutné používat více nastavení či specifikací najednou – viz Obrázek 4-5. Tato situace nastává téměř v každém kroku programování robota.



Obrázek 4-5: Grafické rozhraní ovládacího pendantu

## 4.2 Nastavení zátěže na zápěstí

Prvním krokem při nastavování správné funkčnosti kolaborativního módu je nastavení zátěže na zápěstí. Tuto zátěž je nutné definovat jak pro stav s prázdným chapadlem, tak i pro stav s uchopeným pukem. Jednotlivé zátěže jsou následně měněny mezi sebou v situacích, kdy dochází k úchopu respektive puštění puku. Hlavním důvodem tohoto kroku je fakt, že je nutné dodat informaci o současném zatížení robotické paže řídicí jednotce. Pokud by tak nebylo učiněno, docházelo by k neodůvodněným zastavením robota, protože silový senzor by v modelové situaci snímal veškeré zatížení, které produkují chapadlo, držáky kamery, kamery a eventuálně puk, zatímco informace z řídicí jednotky by tvrdila, že na zápěstí není instalován ani jediný prvek z výše uvedeného výčtu. Silový senzor by pohyb za této situace vyhodnotil jako působení vnější síly a robota by bezdůvodně zastavil.

Pro nastavení správných hodnot je určen nástroj Payload Calculator. V tomto kroku bylo nutné nahradit veškeré části upevněné na zápěstí imaginárními kvádry a definovat jejich hmotnost, tvar a těžiště – viz Obrázek 4-6. Tyto hodnoty byly nadále převedeny do hodnot, ve kterých pracuje systém Fanuc a zadány do nastavení zátěže v ovládacím pendantu – viz Obrázek 4-7.

MULTIPLE PAYLOAD INPUT DATA									
Part #	Name	m (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ix (kgm <sup>2</sup> )	Iy (kgm <sup>2</sup> )	Iz (kgm <sup>2</sup> )	
1	priruba	0,118	0	0	0,005	0,04	0,04	0,01	
2	konzola	0,042	0	-0,08	0,0115	0,04	0,16	0,003	
3	chapadlo	0,77	0	0	0,06	0,06	0,06	0,15	
4	kamera	0,156	0,04	-0,12	0,06	0,04	0,04	0,105	
5	puk	0,107	0	0	0,16	0,04	0,04	0,02	
6									
7									
8									
9									
10									
Total Load	Name	m (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ix (kgm <sup>2</sup> )	Iy (kgm <sup>2</sup> )	Iz (kgm <sup>2</sup> )	
		1,193	0,0052305	-0,018508	0,0618215	0,2236283	0,3417387	0,2903235	

Obrázek 4-6: Payload Calculator

Group 1	
1	Schedule No[ 2 ] : [CHAP PLNE ]
2	PAYLOAD [kg] 1.19
3	PAYLOAD CENTER X [cm] 0.52
4	PAYLOAD CENTER Y [cm] -1.85
5	PAYLOAD CENTER Z [cm] 6.18
6	PAYLOAD INERTIA X [kgfcms <sup>2</sup> ] 0.05
7	PAYLOAD INERTIA Y [kgfcms <sup>2</sup> ] 0.03
8	PAYLOAD INERTIA Z [kgfcms <sup>2</sup> ] 0.03

Obrázek 4-7: Zadané hodnoty zátěže na zápěstí

## 4.3 Nastavení funkce contact-stop

Po nadefinování zátěží na zápěstí bylo možné přistoupit k nastavení stěžejní funkce contact – stop. V první řadě byl nastaven limit maximální možné působící vnější síly. Při určování této síly bylo vycházeno z předpokladu, že robotická paže sama na sebe působí silou 25 [N]. Není zcela objasněn původ této skutečnosti, proto musela být tato síla připočtena ke skutečné síle. Na základě pozorování bylo zjištěno, že na robota působí, vlivem pohybů v experimentálním pracovišti, proměnlivá síla s maximy okolo 20 [N]. Při testování byla definována ideální síla



na 30 [N], kterou lze přirovnat k dotyku prstem. Součtem větší maximální síly a předem definované interní síly byl limit určen na 55 [N]. Speciální funkcí colaborativního robota je schopnost, po nárazu odsunout robota ve vodorovném směru a zároveň odtlačit velké rameno směrem od překážky. Tato funkce nabývá významu především v situacích, kdy dojde k sevření především člověka mezi robotickou paží a libovolnou překážku. Síla potřebná pro odsunutí paže byla nadefinována na 200 [N] – viz Obrázek 4-8.

Force sensor			
Serial number:	180710043		OK
Group:	1		OK
Payload setup:	<DETAIL>		OK
Active Payload: No. 1	[CHAP_PRAZDNE	]	
External force Limit / Disabling input			
@Limit 1:	55.00 [N]	--- [ 0]	OK
Limit 2:	0.00 [N]	--- [ 0]	OK
Limit 3:	0.00 [N]	--- [ 0]	OK
Limit 4:	0.00 [N]	--- [ 0]	OK
Escape:	200.00 [N]		OK

Obrázek 4-8: Nastavení limitu větší síly a síly k vysvobození

Problémem tohoto limitu mohou být situace, kdy je puk odebírán ze zásobníku nebo paletky. Při stisknutí puku není zaručena jeho ideální poloha a v takovém případě by mohlo dojít k vyhodnocení stisku chapadla jako působení větší síly. Proto byl v rámci funkce contact – stop nastaven nástroj Payload change distance. Tento nástroj je schopen v době, kdy je v programu změněna zátěž na zápěstí z prázdného na plné, vypnout funkci contact – stop. To znamená, že i když dojde k problematickému uchopení, robot pokračuje dál v programu a není zastaven s domněnkou působící větší síly. Jedná se o definování imaginárního kvádru se středem v místě úchopu, ve kterém je funkce contact – stop vypnuta – viz Obrázek 4-9.

Payload change distance [mm]				
	Current	+Limit	-Limit	
X:	0.00	2.00	2.00	OK
Y:	0.00	2.00	2.00	OK
Z:	0.00	7.00	7.00	OK
Rotation:	Current	Limit		
	0.00 [deg]	0.20 [deg]		OK
Enabling input:	ON	[ 0]		OK
Password for CONFIRM:	DISABLE			OK

Obrázek 4-9: Payload change distance

## 5 Použité senzory a kamerový systém

Na základě znalostí principů snímacích systémů byla vybrána senzorová řešení, která na experimentálním pracovišti simulují schopnost lidského smyslového vnímání. V následující kapitole jsou znázorněna použitá čidla a jejich účel v experimentálním pracovišti. Dále je zde specifikována použitá kamera, nastavení kamery a její kalibrace.

### 5.1 Senzory

Za účelem automatizace manipulačního programu byla na pracoviště nainstalována optická a indukční čidla. Princip fungování těchto čidel byl popsán v teoretické části této diplomové práce. Digitální signály těchto čidel byly namapovány v ovládacím pendantu na pozice – viz Obrázek 5-1.

DI [ 9 ] U	OFF	[ PUK1 ]
DI [ 10 ] U	OFF	[ PUK2 ]
DI [ 11 ] U	OFF	[ PUK3 ]
DI [ 12 ] U	OFF	[ PUK4 ]
DI [ 13 ] U	OFF	[ REZERVA ]
DI [ 14 ] U	OFF	[ REZERVA ]
DI [ 15 ] U	OFF	[ REZERVA ]
DI [ 16 ] U	OFF	[ REZERVA ]
DI [ 17 ] U	OFF	[ PALETKAVPOZICI ]
DI [ 18 ] U	OFF	[ PALETKANAVYSTUPU ]

Obrázek 5-1: Čidla – digitální vstupy

Indukční čidla kontrolují přítomnost puků v zásobnících – viz Obrázek 5-2. V případě nepřítomnosti některého z puků se na ovládacím pendantu objeví upozornění na prázdný zásobník a program nezapočne.



Obrázek 5-2: Instalované indukční čidlo

Optická čidla jsou na pracovišti použita za účelem kontroly pozice paletek. Snímaná vzdálenost byla nastavena pomocí potenciometru na vzdálenost přibližně šířky pásového dopravníku. První čidlo je instalováno na pozici, tak aby pásový dopravník zastavil s paletkou uprostřed

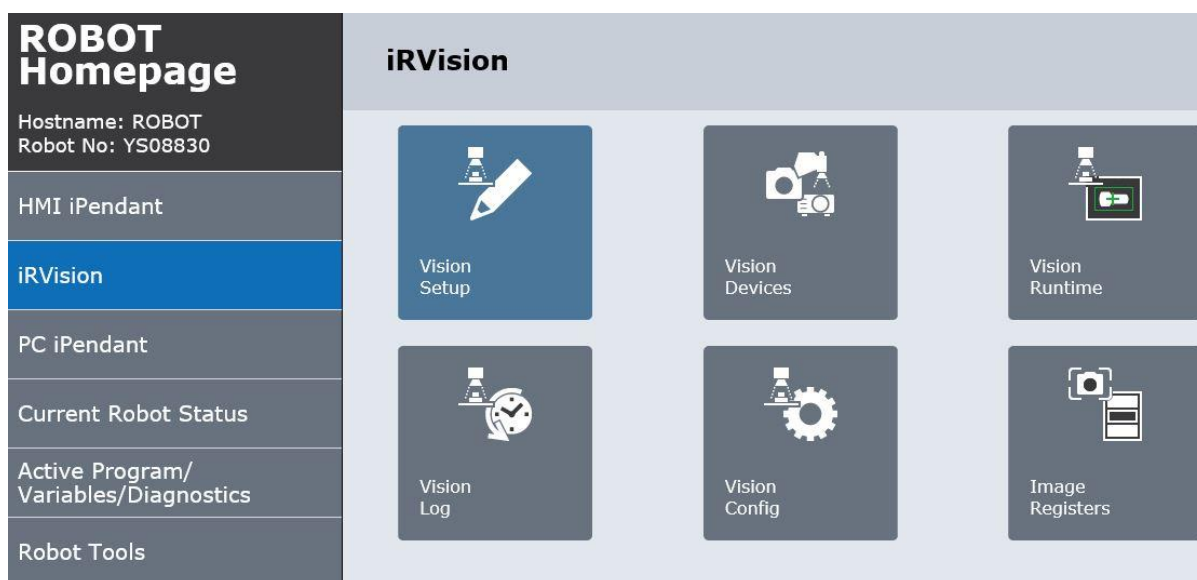
délky pásového dopravníku – viz Obrázek 5-3. Druhé čidlo kontroluje odjezd paletky z pásového dopravníku.



Obrázek 5-3: Instalované optické čidlo

## 5.2 Kamerový systém iRVision 2D

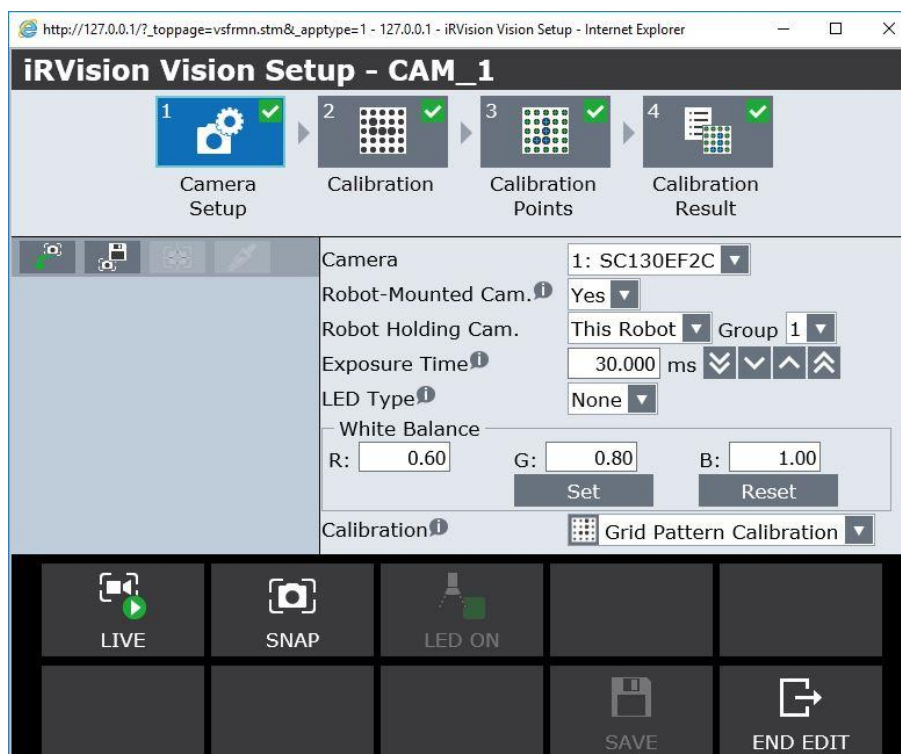
iRVision je plně integrovaný vizuální detekční systém společnosti FANUC, který umožňuje robotům vidět, aby mohli řídit výrobní nastavení rychlejším, chytřejším a spolehlivějším způsobem, což zvyšuje celkovou flexibilitu a efektivitu práce na pracovišti. Pro účely experimentálního pracoviště byla na zápěstí instalována barevná varianta. Nastavení bylo provedeno pomocí internetového prohlížeče připojením pomocí ethernetového kabelu přímo do řídicí jednotky. Systém je zároveň možné nastavit v ovládacím pendantu, ale vzhledem k intuitivnímu prostředí byl zvolen prohlížeč – viz Obrázek 5-4.



Obrázek 5-4: Internetové prostředí

## Nastavení kamery

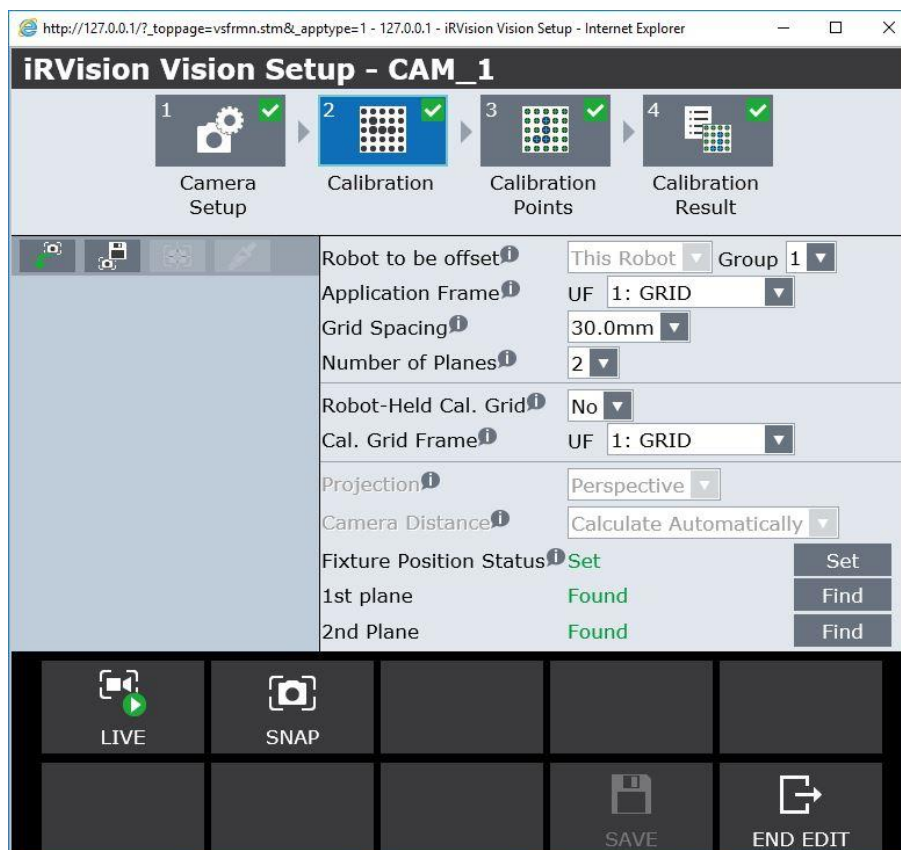
Nastavování iRVision systému probíhá tak, že je vytvořena kamera a provedena její kalibrace. Nejprve je nastaveno její jméno. V dalším kroku je vybrán typ kamery, kde je zvolena varianta, že kamera je připevněna na zápěstí. Pro kameru byl vybrán ideální expoziční čas. Dle náhledu dochází k vybalancování rozložení barev a následně je vybrán typ kalibrace podle kalibrační mřížky – viz Obrázek 5-5.



Obrázek 5-5: Nastavení kamery

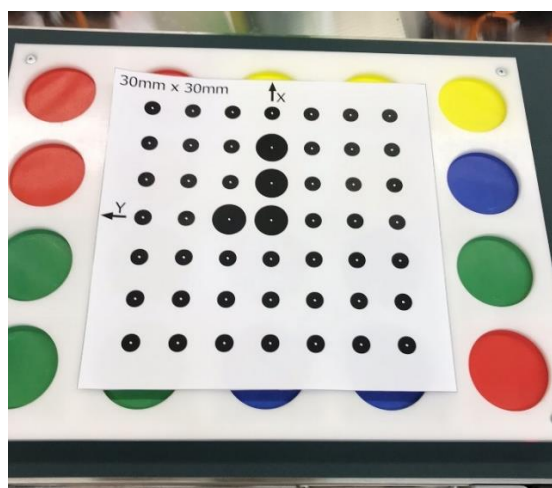
Následně jsou nastaveny specifikace kalibračního procesu. Během tohoto nastavení je zvolena mřížka, její velikost a počet rovin pro kalibraci – viz Obrázek 5-6.





Obrázek 5-6: Nastavení kalibrace

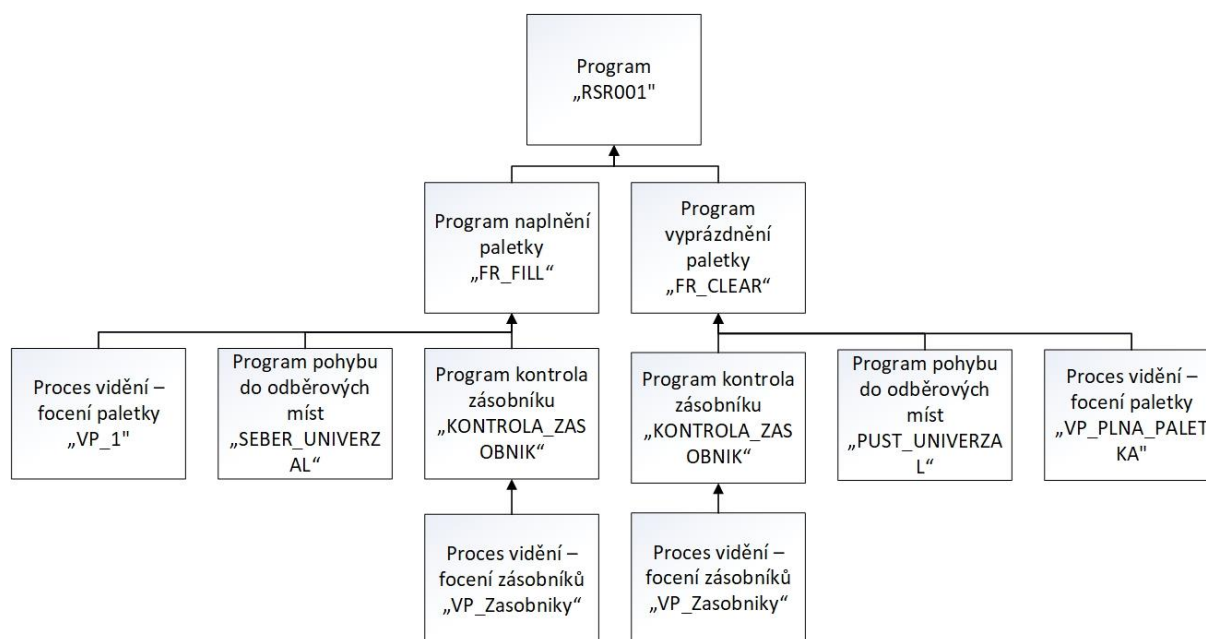
Po tomto nastavení je započat proces kalibrace. Během procesu robotická paže vykonává sled pohybů, aby bylo docíleno vyfocení kalibrační mřížky pod úhlem  $30^\circ$  ze všech stran a z rozdílných výšek. Cílem tohoto procesu je definování pozice kamery oproti zápěstí a aby byl systém schopen přepočítat souřadnice objektů pro následné manipulační programy. Kvalita provedení kalibrace je přímo úměrná k výsledné přesnosti iRVision systému. Pro každý bod jsou zjištěny jeho souřadnice, které porovnává s informacemi o kalibrační mřížce a definuje výslednou pozici kamery – viz Obrázek 5-7. Systém je po nastavení funkce contact – stop a zkalibrování kamery připraven na tvorbu logiky manipulačních programů.



Obrázek 5-7: Kalibrační mřížka

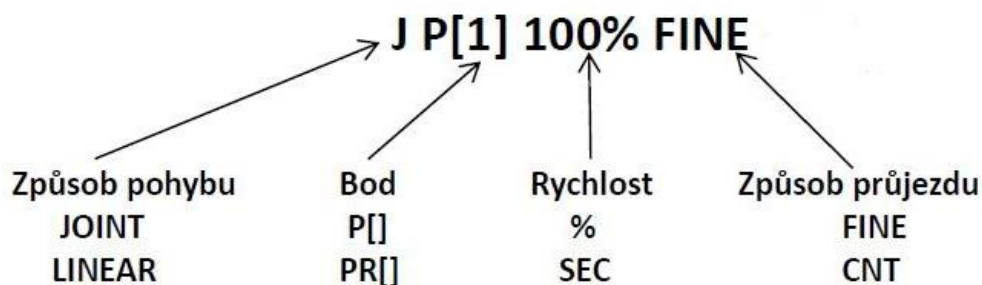
## 6 Tvorba programu

Po nastavení funkcí k docílení kolaborativity a nastavení iRVision systému je možné přistoupit k tvorbě samotného manipulačního programu. Program je složen z různých podprogramů, které jsou volány v určitých situacích a za určitých podmínek. Podprogramy obsahují data z procesů vidění a díky nim jsou schopny plnit úkony v předepsané kvalitě nejen z hlediska pozicování, ale i rozdělení dle barev. V této kapitole je podrobně popsán celý proces tvorby programu od základů po vrchol celé pyramidy.



Obrázek 6-1: Struktura logiky programu

Pro plné pochopení programu je nutné znát několik základních příkazů. Prvním z nich je pohyb robota do určitého bodu – viz Obrázek 6-2.



Obrázek 6-2: Pohyb robota

### Způsob pohybu

- **JOINT**
  - základní pohyb pro přemístění
  - nelineární pohyb
  - orientace nástroje se mění během pohybu
  - zadáváno v % rychlosti nejpomalejší osy
- **LINEAR**
  - lineární pohyb

- orientace nástroje se nemění během pohybu
- pohyby při odebrání a pouštění puků
- zadáváno v mm/s

**Bod**

- P[] - bod, který má uloženou svou pozici pouze v rámci jednoho programu
- PR[] - poziční registr - pozice v něm uložená, je neměnná napříč celým systémem

**Typ průjezdu bodem**

- FINE
  - robot se v cílovém bodě zastaví
  - následuje pohyb do dalšího bodu
- CNT
  - robot se k bodu pouze přiblíží
  - pokračuje v pohybu do dalšího bodu bez zastavení
  - nastavením hodnoty  $1 \div 100$  je možné definovat, jak těsně se robot průjezdovému bodu přiblíží (CNT0 = FINE)

**Další použité instrukce:**

- LBL/JMP LBL – při provedení instrukce JMP LBL je v rámci jednoho programu sled dalších příkazů přesunut na LBL s odpovídajícím číslem
- WAIT – čekání (v sekundách, na digitální signál)
- CALL – volání podprogramu
- ! – komentář

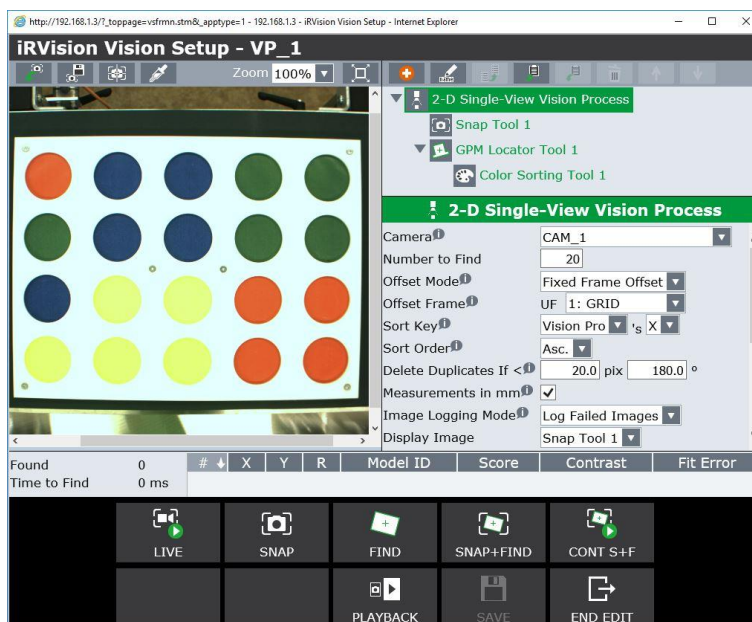
## 6.1 Proces vidění

Základním stavebním kamenem všech podprogramů je nadefinování procesu vidění paletky v pozici a procesu rozpoznání pozic zásobníků dle barev. Nastavení obou procesů zahrnuje stejné kroky pouze s odlišnými hodnotami, proto je v této kapitole popsán pouze proces vidění paletky a rozpoznání barevných plošek. Prvním krokem je vytvoření procesu vidění – viz Obrázek 6-3.



Obrázek 6-3: Vytvoření procesu vidění

V základním nastavení procesu vidění je definována použitá kamera, počet hledaných plošek. Ostatní specifikace jsou pro účely naší demonstrace nedůležité – viz Obrázek 6-4.

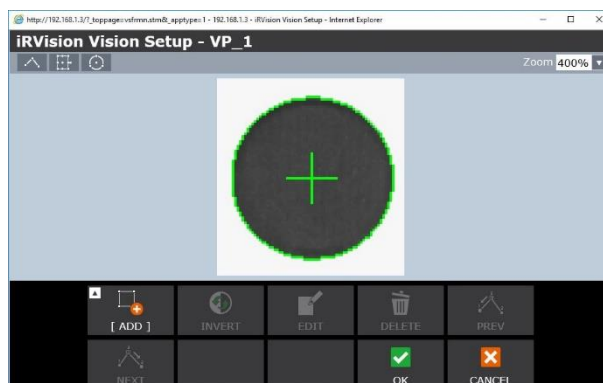


Obrázek 6-4: Základní nastavení procesu vidění

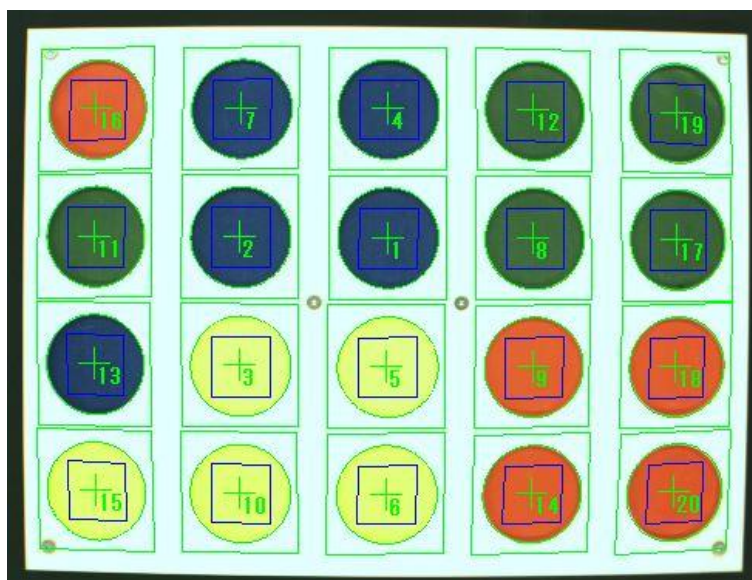
V následujícím kroku je naučen tvar, který proces hledá. Cílem je naučit kruh, který je v nejlepší kvalitě ze všech 20 kruhů, proto je vybrán kruh s nejmenší vzdáleností od středu paletky a co možná nejvyšším rozdílem bílé a šedé barvy – viz Obrázek 6-5. Vzhledem k focení z jedné pozice se všechny ostatní kruhy jeví jako deformované, proto je nutné zavést do



nastavení tolerance tvaru a velikosti. Následně je pomocí tlačítka „snap + find“ ověřeno, zda jsou zachyceny pozice všech 20 kruhů – viz Obrázek 6-6.



Obrázek 6-5: Naučený tvar



Obrázek 6-6: Kontrola zachycení všech kruhů

Posledním krokem tohoto procesu je identifikace barev uvnitř všech kruhů. Jsou definovány čtyři barvy, které se nacházejí uvnitř nejlépe viditelných kruhů. Jejich odstín se pohybuje na stupnici od červené (0) po fialovou (360) – viz Obrázek 6-7. Vzhledem k nedokonalému osvětlení vykazuje každá ploška barvu různých odstínů, přestože ve skutečnosti je stejná. Tato skutečnost byla vyřešena zadáním tolerance, o kterou se odstín barvy může lišit. Vzhledem k tomu, že se barvy modrá, zelená, červená a žlutá nacházejí na barevném spektru s největšími odstupy, bylo možné definovat vysokou toleranci a zajistit tak bezproblémové rozeznání všech čtyř barev. Všechny barvy byly přiřazeny jednotlivým ID vzorových barev – viz Obrázek 6-8. Výstupem procesu vidění je tedy pozice kruhu a ID jeho barvy. Tato informace je nadále využívána v pohybových podprogramech.

#	Color	ID	Hue	Saturation	Intensity
1		1	211.6	60.4	62
2		2	111.5	46.2	84
3		3	15.7	79.6	119
4		4	71.7	54.0	232

Obrázek 6-7: Odstín naučených barev

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1	Dark Blue	211.87	2.61	1	0.27
2		212.18	2.73	1	0.58
4		212.60	2.68	1	1.00
7		213.04	2.37	1	1.44
13		212.86	2.75	1	1.26
8	Dark Green	116.87	5.02	2	5.39
11		118.82	5.24	2	7.34
12		116.21	5.06	2	4.73
17		115.94	4.62	2	4.46
19		114.48	4.69	2	2.99
9	Orange	16.38	0.80	3	0.70
14		15.37	0.73	3	0.29
16		15.58	0.94	3	0.08
18		15.21	0.79	3	0.45
20		14.42	0.73	3	1.25
3	Yellow	73.31	0.62	4	1.65
5		73.36	0.60	4	1.70
6		71.99	0.50	4	0.33
10		71.93	0.50	4	0.26
15		71.83	0.50	4	0.17

Obrázek 6-8: Přiřazení ID zachyceným barvám

Stejně jako pro pozice na paletce bylo nutné vytvořit proces vizuálního snímání pro zásobníky, který ověřuje pozici barev ve všech čtyřech zásobnících. Tento proces je využíván pro kontrolu levé i pravé dvojice zásobníků. Předpokladem tohoto procesu je fakt, že každý zásobník obsahuje vždy jen puky stejné barvy – viz Obrázek 6-9 a Obrázek 6-10.



Obrázek 6-9: Levá dvojice zásobníků



Obrázek 6-10: Pravá dvojice zásobníků

## 6.2 Podprogram kontrola zásobníků

Vzhledem ke skutečnosti, že na pracovišti se nacházejí čtyři zásobníky a v každém zásobníku se mohou nacházet puky určité barvy, je nutné v prvních krocích programu rozeznat, v jakém zásobníku se puky dané barvy nacházejí. Pokud by byl vynechán tento krok, program by po změně zásobníků nebyl schopen umístit puky odpovídající barvy na barevnou plošku. Program se opírá o čtyři pozice pro odběr puků, které jsou uloženy v paměti robotu. Dále jsou v paměti robotu uloženy čtyři pozice pro plnění zásobníků puků. Tyto pozice jsou neměnné a jsou uloženy do pozičních registrů dále jen PR. PR je proměnná, do které lze uložit souřadnice X,Y,Z a rotaci okolo os X,Y,Z. Odběrová místa jsou uložena pod indexem PR[90] až PR[93] a plnicí místa od PR[95] až PR[98]. Program je založen na procesu rozeznání zásobníků. Prvním krokem je pořízení snímku dvojice zásobníků. Z tohoto snímku je zjištěna barva a pozice puku v zásobníku, tyto informace jsou uloženy do dočasných proměnných. V následujícím kroku je vytvořena podmínka, o jakou barvu puku se jedná. Na základě rozhodnutí je prováděn příslušný sled příkazů v programu. Pomocí návěští dochází ke skoku do příslušné sekce odpovídající barvě puku – viz Obrázek 6-11.

```

3:J P[1:SNAP1] 100% FINE
4: VISION OVERRIDE 'VO_ZASOBNIKY'
  : 40.0
5: VISION RUN_FIND 'VP_ZASOBNIKY'
  :
6: LBL[2]
7: VISION GET_OFFSET 'VP_ZASOBNIKY'
  : VR[2] JMP LBL[1]
8: R[2]=VR[2].MODELID
9: PR[80]=VR[2].FOUND_POS[1]
10: SELECT R[2]=1, JMP LBL[3]
11:      =2, JMP LBL[4]
12:      =3, JMP LBL[5]
13:      =4, JMP LBL[6]

```

Obrázek 6-11: Podprogram kontrola zásobníků - větvení podle barvy

V druhém etapě je vytvořena logika z podmínek, které posuzují Y souřadnici vzhledem k podstavě robota. Pokud je souřadnice v rozmezí, ve kterém se skutečný zásobník nachází, tak je do pozičního registru uložena pozice z dříve zmiňovaných neměnných pozičních registrů. Na následujícím obrázku je znázorněna část logiky pro modrý zásobník – viz Obrázek 6-12. Výsledkem celého podprogramu je osm nově uložených pozic, které jasně definují odběrová a plnicí místa všech čtyř barev.

```

15: LBL[3]
16: IF (PR[80,2:POZICE_ZAS]<(-310)
: AND PR[80,2:POZICE_ZAS]>(-330))
: THEN
17: PR[81:IN_MODRA]=PR[95:LL_IN]
18: PR[85:OUT_MODRA]=PR[90:LL_OUT]
:
19: ENDIF
20: IF (PR[80,2:POZICE_ZAS]<(-210)
: AND PR[80,2:POZICE_ZAS]>(-230))
: THEN
21: PR[81:IN_MODRA]=PR[96:LR_IN]
22: PR[85:OUT_MODRA]=PR[91:LR_OUT]
:
23: ENDIF
24: IF (PR[80,2:POZICE_ZAS]<220 AND
: PR[80,2:POZICE_ZAS]>200) THEN
25: PR[81:IN_MODRA]=PR[97:RL_IN]
26: PR[85:OUT_MODRA]=PR[92:RL_OUT]

```

Obrázek 6-12: Podprogram kontrola zásobníků – logika pro modrý zásobník

### 6.3 Pohybové podprogramy odběru puků ze zásobníků a plnění zásobníků puků

Podprogram „SEBER\_UNIVERZAL“ je částí nadřazeného programu „FR\_FILL“. Podprogram představuje pohyb robotické paže k zásobníku a odběr puku. Je založen na podmínce, o kterou barvu plošky se jedná. Na základě této informace je proveden skok pomocí návěští do odpovídající části kódu příslušné barvy, kterou je zastoupena pomocí ID. V každé barevné sekci je vytvořen sled pohybů, jež využívají pozice z pozičních registrů, které jsou nastaveny v předchozím podprogramu. Logika zároveň obsahuje příkaz pro uzavření chapadla a čekání v pozici pro zaručení kvalitního úchopu. Konec podprogramu je uvozen návěští, které zajišťuje skok na další část programu – viz Obrázek 6-13.

```

1: SELECT R[1]=1, JMP LBL[1]
2:           =2, JMP LBL[2]
3:           =3, JMP LBL[3]
4:           =4, JMP LBL[4]
5: !MODRA
6: LBL[1]
7:L PR[85:OUT_MODRA] 500mm/sec
: CNT100
: Tool_Offset, PR[100:ODSTUP]
8:L PR[85:OUT_MODRA] 500mm/sec FINE
:
9: CALL CHAPADLO_ZAVRIT
10: PAYLOAD[2:CHAP_PLNE]
11: WAIT .50(sec)
12: WAIT (!F[5:SP1:plchg])
13:L PR[85:OUT_MODRA] 500mm/sec
: CNT20 Tool_Offset, PR[100:ODSTUP]
:
14: JMP LBL[5]

```

Obrázek 6-13: Podprogram odběru puků ze zásobníků pro modrou barvu



Podprogram „PUST\_UNIVERZAL“ je částí nadřazeného programu „FR\_CLEAR“. Představuje pohyb robotické paže po odebrání puku z paletky k místu pro naplnění zásobníku. Je založen na podmínce uvozenou klíčovým slovem SELECT, o kterou barvu puku se jedná. Na základě této informace o barvě je proveden skok pomocí návěstí do příslušného kódu odpovídající ID barvy. V každé barevné sekci je vytvořen sled pohybů, jež využívají pozice z pozičních registrů, které byly nastaveny v předchozím podprogramu. Logika zároveň obsahuje příkaz pro otevření chapadla a čekání v pozici pro zaručení bezproblémového odložení puku. Konec podprogramu je uvozen návěstím, které zajišťuje skok na další část programu – viz Obrázek 6-14.

```
1: SELECT R[1]=1, JMP LBL[1]
2:         =2, JMP LBL[2]
3:         =3, JMP LBL[3]
4:         =4, JMP LBL[4]
5: !MODRA
6: LBL[1]
7: J PR[81:IN_MODRA] 100% CNT100
   : Tool_Offset, PR[100:ODSTUP]
8: L PR[81:IN_MODRA] 500mm/sec FINE
   :
9: CALL CHAPADLO_OTEVRET
10: PAYLOAD[1:CHAP_PRAZDNE]
11: WAIT .50(sec)
12: WAIT (!F[5:OF]:plchg])
13: L PR[81:IN_MODRA] 500mm/sec CNT20
   : Tool_Offset, PR[100:ODSTUP]
14: JMP LBL[5]
```

Obrázek 6-14: Podprogram naplnění zásobníků

## 6.4 Programy naplnění a vyprázdnění paletky

Tyto podprogramy využívají všechny dříve zmíněné podprogramy. Jejich účelem je naplnění prázdné paletky respektive vyprázdnění plné paletky. V prvním případě je focena prázdná paletka, tudíž je hledán tvar odpovídající ploškám v paletce. Ploškám jsou pomocí procesu vidění přiřazeny jednotlivá ID barev. V programu probíhá cyklus, který postupně voláním podprogramu „SEBER\_UNIVERZAL“ a offsetováním pozic plošek naplní paletku puky příslušných barev. Logika tohoto programu je znázorněna na následujícím obrázku – viz Obrázek 6-15. V druhém případě je hledán tvar puku. Pomocí procesu vidění jsou pukům přiřazeny pozice a barvy. V programu probíhá cyklus uchopení puku dle přiřazených pozic a následné upuštění puku do příslušného zásobníku pomocí podprogramu „PUST\_UNIVERZAL“.

```

1: J P[1:SNAP1] 100% FINE
2: VISION RUN_FIND 'VP_1'
3: CALL KONTR_ZASOBNIKUL
4: CALL KONTR_ZASOBNIKUR
5: LBL[2]
6: VISION GET_OFFSET 'VP_1' VR[1]
   : JMP LBL[1]
7: R[1]=VR[1].MODELID
8: CALL SEBER_UNIVERZAL
9: L P[2:REF] 500mm/sec CNT100
   : VOFFSET,VR[1]
   : Tool_Offset,PR[100:ODSTUP]
10: L P[2:REF] 500mm/sec FINE
   : VOFFSET,VR[1]
11: PAYLOAD[1:CHAP_PRAZDNE]
12: CALL CHAPADLO_OTEVrit
13: L P[2:REF] 250mm/sec FINE
   : VOFFSET,VR[1]
   : Tool_Offset,PR[100:ODSTUP]
14: JMP LBL[2]
15: LBL[1]

```

Obrázek 6-15: Podprogram naplnění paletky

## 6.5 Hlavní program „RSR001“

Tento hlavní program zajišťuje spuštění jednotlivých podprogramů. Název „RSR001“ vychází z interního nastavení řídicí jednotky Fanuc. V první řadě program ověří přítomnost puků v zásobnících prostřednictvím indukčních čidel. Dále je v logice programu započat podprogram „FR\_FILL“ poté, co paletka dojde po pásovém dopravníku do pozice, ve které optické čidlo detekuje její přítomnost. Tento úkon je reprezentován podprogramem „PALETKA\_V\_POZICI“, který pouze zastaví dopravník. Po naplnění paletky je opět spuštěn pohyb pásového dopravníku a paletka odjede na konec dopravníku. Na konci dopravníku je pomocí druhého optického čidla dopravník zastaven podprogramem „PALETKA\_NA\_KONCI“ a zapnut zpětný chod dopravníku. Při najetí paletky zpět do pozice je dopravník opět pomocí prvního optického čidla zastaven a je spuštěn podprogram „FR\_CLEAR“. Po dokončení tohoto podprogramu je paletka pásovým dopravníkem přesunuta na vedlejší pracoviště. Tímto krokem je program a zároveň celý proces ukončen. Sled volání jednotlivých podprogramů je znázorněn na následujícím obrázku – viz Obrázek 6-16.

```

1: CALL OVERENI_PRITOMNOSTI_PUKU
2: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_VPRED]=ON
3: CALL PALETKA_V_POZICI
4: CALL FR_FILL
5: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_VPRED]=ON
6: CALL PALETKA_NA_KONCI
7: DO[2:OFF:DOPRAVNIK_REVERZ]=ON
8: CALL PALETKA_V_POZICI
9: CALL FR_CLEAR
10: DO[1:OFF:DOPRAVNIK_VPRED]=ON
11: CALL PALETKA_NA_KONCI

```

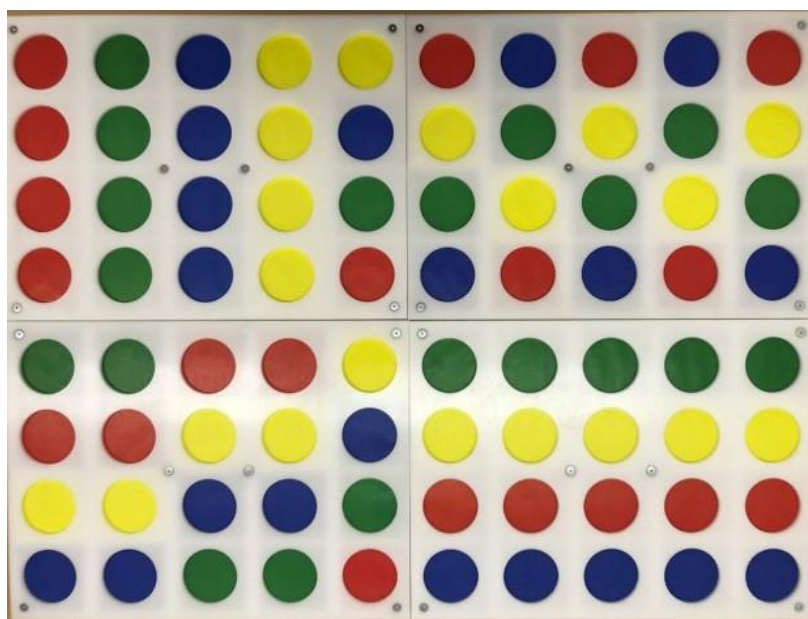
Obrázek 6-16: Hlavní program

## 7 Testování spolehlivosti systému

Celý systém a jeho bezproblémové fungování je založeno nejen na konstrukci prstů chapadel, puků, paletek, zásobníků a správném naprogramování, ale především na světelných podmínkách, ve kterých kamerový systém pracuje.

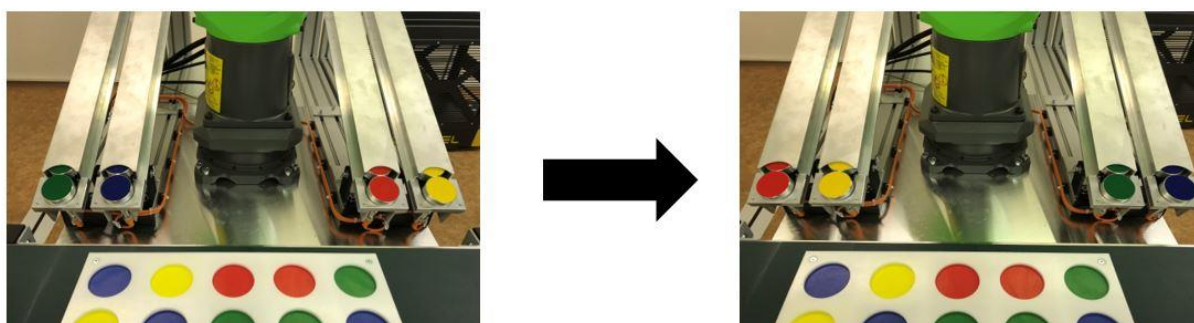
### 7.1 Testování odlišných paletek a záměny zásobníků

Program byl spuštěn s každou z deseti variant rozložení barevných plošek na paletce – viz Obrázek 7-1. Ve všech případech byl systém schopen barvy rozeznat a naplnit tak paletku se stoprocentní úspěšností.



Obrázek 7-1: Ukázky variant rozložení plošek na paletkách

Bylo provedeno několik experimentů se zaměňováním pozic určitých barev v určitých zásobnících. Na následujícím příkladu byl modrý zásobník zaměněn za žlutý a zelený za červený – viz Obrázek 7-2 I v tomto případě systém vždy dokázal na změnu reagovat a přizpůsobit svá odběrová místa tak, aby naplnil paletku pukly odpovídající barvy.



Obrázek 7-2: Záměna zásobníků



## 7.2 Experimenty úprav světelné intenzity uprostřed paletky

Experimentální pracoviště je situováno v prostoru bez oken a osvětleno třemi řadami zářivkových světel. V této kapitole je popsáno testování schopnosti správně rozpoznat barvy za všech možných kombinací rozsvícení nebo zhasnutí jednotlivých řad. Zároveň byly provedeny experimenty s externím osvětlením. Při všech variantách byla změřena intenzita osvětlení uprostřed paletky prostřednictvím luxmetru – viz Obrázek 7-4. Pro pochopení všech částí této kapitoly jsou na následujícím obrázku popsány jednotlivé řady světel pomocí indexu – viz Obrázek 7-3. Pokud se index určité řady světel objeví v názvu podkapitoly, znamená to, že v odpovídajícím experimentu byla rozsvícena řada světel odpovídající specifikovaným indexům.



Obrázek 7-3: Osvětlení



Obrázek 7-4: Luxmetr

### 7.2.1 Experiment 1 – 2 – 3

Intenzita osvětlení při zapnutí všech tří řad byla změřena na 673 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek lze vidět v následující tabulce – viz Obrázek 7-5. V následující kapitole lze sledovat odchylky v zachycených odstínech od standartních výsledků během zapnutí všech řad osvětlení.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1	Dark Blue	211.33	2.78	1	0.26
4		211.77	2.91	1	0.17
9		212.42	2.58	1	0.82
11		212.89	2.53	1	1.29
12		212.51	2.77	1	0.91
5	Dark Green	116.67	4.91	2	5.18
10		115.92	5.18	2	4.44
14		118.93	5.21	2	7.45
16		116.05	4.81	2	4.56
19		114.17	4.76	2	2.69
8	Orange	15.44	0.78	3	0.22
13		14.85	0.77	3	0.82
17		14.80	0.75	3	0.86
18		15.26	0.85	3	0.41
20		14.32	0.80	3	1.35
2	Yellow	72.47	0.58	4	0.80
3		72.38	0.54	4	0.71
6		71.23	0.50	4	0.43
7		71.11	0.50	4	0.55
15		71.06	0.50	4	0.60

Obrázek 7-5: Experiment standartní osvětlení

### 7.2.2 Experiment 2 – 3

V tomto experimentu byly zhoršeny světelné podmínky zhasnutím první řady světel. Intenzita osvětlení byla změřena na 583 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek lze vidět v následující tabulce – viz Obrázek 7-6.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1	Dark Blue	211.14	2.77	1	0.45
3		211.61	2.95	1	0.01
8		212.16	2.70	1	0.56
11		212.58	2.64	1	0.97
12		212.27	2.92	1	0.67
2	Dark Green	117.71	5.06	2	6.23
10		117.06	5.36	2	5.58
13		120.12	5.42	2	8.64
15		117.04	5.05	2	5.55
18		115.11	5.05	2	3.62
7	Orange	15.36	1.16	3	0.31
14		14.99	1.16	3	0.67
16		14.92	1.14	3	0.74
19		15.42	1.22	3	0.24
20		14.39	1.18	3	1.28
4	Yellow	71.00	0.50	4	0.66
5		71.03	0.50	4	0.63
6		70.07	0.50	4	1.60
9		70.02	0.50	4	1.65
17		69.99	0.50	4	1.67

Obrázek 7-6: Experiment 2 – 3

### 7.2.3 Experiment 1 – 2

V tomto experimentu byly zhoršeny světelné podmínky zhasnutím třetí řady světél. Intenzita osvětlení byla změřena na 423 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-7.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
3		118.97	5.90		
9		117.11	6.16		
11		121.52	6.34		
13		118.17	5.94		
17		114.89	6.39		
1		212.71	3.32	1	1.12
2		212.23	3.22	1	0.63
4		213.12	3.04	1	1.53
8		213.52	2.84	1	1.92
10		213.59	3.38	1	1.99
5		15.30	1.30	3	0.36
12		14.44	1.36	3	1.23
14		14.83	1.32	3	0.83
15		15.44	1.37	3	0.23
18		14.06	1.40	3	1.61
6		57.05	1.75	4	14.61
7		55.70	1.66	4	15.96
16		56.77	1.83	4	14.89
19		56.40	1.70	4	15.26
20		57.65	1.76	4	14.01

Obrázek 7-7: Experiment 1 – 2

### 7.2.4 Experiment 1 – 3

V tomto experimentu byly zhoršeny světelné podmínky zhasnutím druhé řady světél. Intenzita osvětlení byla změřena na 381 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-8.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1		211.82	4.26		
2		110.75	6.65		
3		212.22	4.51		
5		213.50	4.25		
6		50.71	1.52		
7		49.73	1.49		
8		48.94	1.44		
9		111.61	7.13		
10		50.19	1.52		
11		213.99	4.13		
12		212.72	4.29		
14		112.65	7.11		
15		109.86	6.66		
18		110.08	6.87		
19		51.03	1.61		
4		14.57	1.29	3	1.10
13		14.50	1.25	3	1.17
16		14.14	1.25	3	1.52
17		14.04	1.38	3	1.63
20		13.97	1.29	3	1.70

Obrázek 7-8: Experiment 1 - 3

### 7.2.5 Experiment 1

V tomto experimentu byly zhoršeny světelné podmínky zhasnutím druhé a třetí řady světél. Intenzita osvětlení byla změřena na 97 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-9.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1		217.83	9.34		
2		218.17	9.52		
3		93.72	9.56		
4		46.94	3.24		
5		13.74	3.64		
6		47.18	3.22		
7		219.07	9.47		
8		218.51	9.02		
9		96.62	11.73		
10		46.32	3.22		
11		219.90	9.83		
12		46.68	3.21		
13		95.26	9.76		
14		13.05	3.96		
15		91.57	10.81		
16		13.35	3.73		
17		13.03	3.65		
18		92.21	10.26		
19		46.76	3.38		
20		12.58	3.97		

Obrázek 7-9: Experiment 1

### 7.2.6 Experiment 2

V tomto experimentu byly zhoršeny světelné podmínky zhasnutím první a třetí řady světél. Intenzita osvětlení byla změřena na 319 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-10.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
2		120.64	6.37		
7		118.61	6.78		
8		213.60	3.70		
9		123.36	6.53		
11		120.00	6.56		
14		116.70	7.15		
1		212.59	3.67	1	0.98
3		212.02	3.57	1	0.42
5		212.85	3.39	1	1.25
6		213.22	3.30	1	1.63
4		15.50	1.50	3	0.16
10		14.45	1.55	3	1.21
12		14.98	1.48	3	0.69
13		15.82	1.59	3	0.14
15		14.03	1.63	3	1.64
16		60.34	1.95	4	11.32
17		60.92	1.83	4	10.74
18		59.64	1.90	4	12.03
19		58.83	1.88	4	12.83
20		60.19	1.89	4	11.47

Obrázek 7-10: Experiment 2



### 7.2.7 Experiment 3

V tomto experimentu byly zhoršeny světelné podmínky zhasnutím první a druhé řady světel. Intenzita osvětlení byla změřena na 265 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-11.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
1		212.35	4.88		
2		212.65	5.00		
3		110.92	7.63		
5		213.85	4.97		
6		111.74	8.61		
7		214.22	4.90		
8		213.23	4.87		
10		113.01	8.12		
11		110.18	8.01		
13		110.08	8.09		
16		50.70	1.70		
17		50.22	1.72		
18		48.90	1.61		
19		51.20	1.79		
20		49.63	1.63		
4		14.55	1.38	3	1.12
9		14.58	1.37	3	1.09
12		14.02	1.38	3	1.65
14		13.87	1.53	3	1.80
15		13.88	1.43	3	1.79

Obrázek 7-11: Experiment 3

### 7.3 Experiment s LED přisvícením

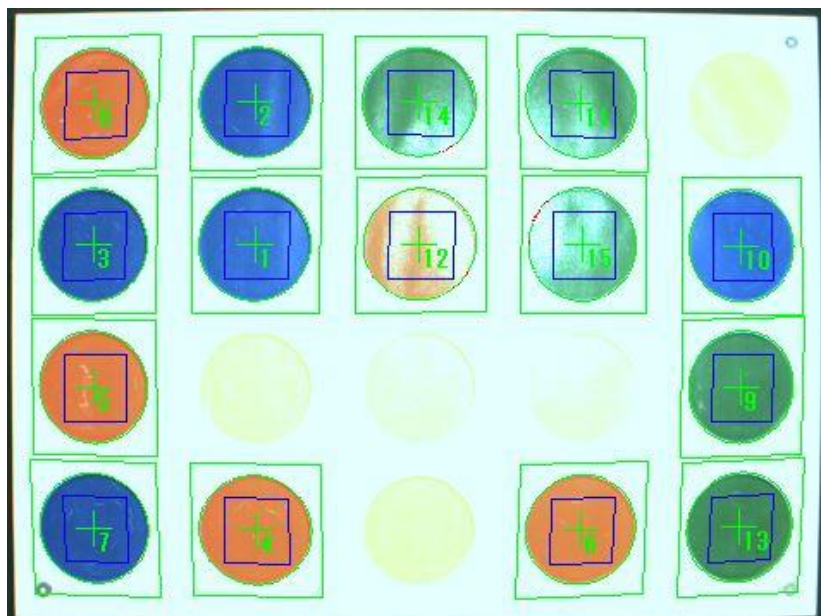
V tomto experimentu byly standartní světelné podmínky zlepšeny LED diodou. Intenzita osvětlení byla změřena na 740 [lx]. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-12.

#	Measured Color	Hue Mean	Hue Std. Dev.	Color ID↓	Hue Error
2		210.05	2.66	1	1.55
4		211.56	2.53	1	0.04
9		212.17	2.34	1	0.57
11		212.79	2.23	1	1.20
12		212.38	2.66	1	0.78
5		120.42	4.75	2	8.93
10		118.90	4.85	2	7.42
14		120.92	4.98	2	9.44
16		118.81	4.49	2	7.33
19		116.76	4.55	2	5.27
8		17.04	0.94	3	1.37
13		15.28	0.76	3	0.38
17		15.39	0.77	3	0.27
18		15.51	0.87	3	0.15
20		14.44	0.78	3	1.22
1		74.31	0.70	4	2.65
3		73.84	0.67	4	2.18
6		72.29	0.50	4	0.62
7		72.06	0.50	4	0.40
15		71.85	0.50	4	0.18

Obrázek 7-12: Experiment s LED přisvícením

## 7.4 Experiment s přisvícením fluorescenční lampou

V tomto experimentu byly standartní světelné podmínky pomocí tří řad světel doplněny přisvícením pomocí fluorescenční lampy. Intenzita osvětlení byla změřena na 832 a 1024 [lx]. V tomto případě měl systém problém rozpoznat tvar žlutých plošek, které se jeví jako bílé – viz Obrázek 7-13. Výsledky zachycených odstínů jednotlivých plošek jsou zachyceny v následující tabulce – viz Obrázek 7-14.







Obrázek 7-13: Experiment fluorescenční lampa (1)

#	Measured Color	Hue Mean ↑	Hue Std. Dev.	Color ID	Hue Error
7		217.52	1.58	1	5.93
3		217.36	2.06	1	5.76
10		217.14	0.87	1	5.54
2		216.95	1.55	1	5.35
1		216.07	1.54	1	4.47
15		162.35	10.78		
11		152.28	7.56		
14		150.20	9.50		
9		144.56	3.08		
13		140.16	3.42		
12		98.87	57.76		
6		24.02	1.48	3	8.35
4		22.65	1.78	3	6.98
5		21.28	2.65	3	5.61
8		19.86	2.01	3	4.20

Obrázek 7-14: Experiment fluorescenční lampa (2)

## 7.5 Analýza naměřených hodnot

Z následující tabulky je patrné, že systém má značné problémy s jakoukoliv změnou světelných podmínek – viz Obrázek 7-15. V některých případech nejen, že nedokázal identifikovat barvy, ale dokonce rozeznal tvar plošek z důvodu minimálního kontrastu mezi ploškou a okolím. V tomto případě lze problém řešit navýšením tolerancí rozdílů kontrastu, tvaru a barvy. Toto řešení je v průmyslové výrobě bohužel velmi nevhodné, protože ve většině případů se jedná o velmi přesné tvarové prvky, které musí být jednoznačně definovány, a každým navýšením tolerance se aplikaci snižuje přesnost. Na základě těchto měření lze s jistotou tvrdit, že kvalita osvětlení je významným faktorem při určování barev pomocí kamerových systémů. Zásadou by měl být fakt, že se světelné podmínky nemění během dne a nevytváří se stíny. Dle tabulky lze konstatovat, že systém pracuje bezchybně, pokud je uprostřed paletky docílena světelná intenzita v rozmezí 550 až 740 [lx].

Varianta osvětlení	Intenzita osvětlení [lx]	Počet nalezených				Celkem	Procento
							
1 2 3	673	5	5	5	5	20	100
2 3	583	5	5	5	5	20	100
1 2	423	5	0	5	5	15	75
1 3	381	0	0	5	0	5	25
1	97	0	0	0	0	0	0
2	319	4	0	5	5	14	70
3	265	0	0	5	0	5	25
1 2 3 + LED dioda	740	5	5	5	5	20	100
1 2 3 + Lampa	832	3	2	5	2	12	60
1 2 3 + Lampa	1020	5	0	4	0	9	45

Obrázek 7-15: Vyhodnocení experimentů



## Závěr

Práce byla vytvořena na experimentálním pracovišti v showroomu Průmyslu 4.0 na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prvním cílem bylo navrhnout vhodné snímací systémy a následně s jejich využitím vytvořit program pro manipulaci barevných puků do jím příslušících barevných plošek v plastových paletkách pomocí kolaborativního robota. Druhým cílem bylo ověření spolehlivosti rozpoznávání barev u těchto snímacích systémů. Byly také definovány světelné podmínky pro zachování spolehlivosti rozpoznávání u systému na experimentálním pracovišti.

V první teoretické části byly nejprve popsány různé pohledy na automatizaci. Byla zde podrobně popsána funkcionality automatizovaných systémů, jejich typy, výhody a nevýhody. Dále byly popsány jednotlivé stupně automatizace včetně důvodů implementace. V závěru této kapitoly byla automatizace rozdělena z hlediska velikosti zásahu do stávajícího systému.

V druhé polovině teoretické části byly popsány principy použitelných snímacích systémů. Nejprve byla provedena rešerše senzorových řešení a následně provedena rešerše vizuálních kamerových systémů. Na základě těchto znalostí byly vybrány vhodné senzory a kamerový 2D systém.

V části praktické této práce bylo provedeno nastavení všech snímacích systémů, především kamerového systému, jehož data jsou nedílnou součástí většiny podprogramů. Následně byla vytvořena struktura hlavního programu, který se skládá z jednotlivých podprogramů. Byla zde popsána funkčnost každého podprogramu včetně vysvětlení jejich interakce s fyzickým zařízením v rámci celého systému.

V závěrečné části byly nejprve provedeny testy spolehlivosti rozeznání barevných paletek a schopnost identifikovat záměnu zásobníků. Následně probíhaly experimenty s uměle vytvořeným osvětlením, za účelem určení schopnosti kamerového systému spolehlivě rozpoznávat jednotlivé barvy. Analýzou výsledků provedených experimentů byly určeny okrajové podmínky intenzity osvětlení pro zachování spolehlivosti rozpoznání všech tvarů a barev. Tyto podmínky jsou zásadní pro bezproblémové fungování zařízení na experimentálním pracovišti.

## Citovaná literatura

- [1] **Tatlock, Randy.** DS Biovia. *Dassault Systemes*. [Online] 1. Leden 2012. [Citace: 20. 11 2018.] <http://www.3dsbiovia.com/about/news-pr/discoverant-pdf/2012/bioprocess-international-january-2012-manufacturing-process-automation-finding-a-pathway-forward.pdf>.
- [2] International federation of robotics. [Online] [Citace: 3. 12 2018.] <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years>.
- [3] **Šmejkal, Ladislav a Martinásková, Marie.** *PLC a automatizace. 1. díl, Základní pojmy, úvod do programování*. Praha : BEN, 1999. ISBN 80-86056-58-9.
- [4] **Khatib, Oussama a Siciliano, Bruno.** *Springer handbook of robotics*. Berlin : Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.
- [5] **Weber, Mark.** What are automated manufacturing systems. *Connell Industries*. [Online] 26. Leden 2018. [Citace: 20. 11 2018.] <https://connell-ind.com/what-are-automated-manufacturing-systems/>.
- [6] Types of automation production and operations management. *Wisdom Jobs*. [Online] [Citace: 20. 11 2018.] <https://www.wisdomjobs.com/e-university/production-and-operations-management-tutorial-295/types-of-automation-9679.html>.
- [7] *KM Steel India*. [Online] [Citace: 20. 11 2018.] <http://www.kmsteelindia.com/fasteners-nut-washer-screws-bolts-manufacturing-process.html>.
- [8] **Kolibal, Zdeněk.** *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno : nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [9] *Sync Robotics*. [Online] [Citace: 20. 11 2018.] <https://www.syncrobotics.ca/>.
- [10] **Beneš, Pavel.** *Automatizace a automatizační technika 1 : systémové pojetí automatizace*. Brno : Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [11] **Musílek, Slavoj.** Automatizace v roce 2018. [Online] [Citace: 20. 11 2018.] <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/automatizace-v-roce-2018.htm>.
- [12] Fanuc Robotics. [Online] [Citace: 3. 12 2018.] <https://www.fanuc.eu/cz/en>.
- [13] National Aeronautics and Space Administration. [Online] [Citace: 3. 12 2018.] <https://www.nasa.gov/>.
- [14] **Martinek, Radislav.** *Senzory v průmyslové praxi*. Praha : BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [15] Sick senzor intelligence. [Online] [Citace: 3. 12 2018.] <https://www.sick.com/cz/cs/>.
- [16] Nejpoužívanější senzory v automatizaci. [Online] [Citace: 21. 11 2018.] <https://coptkm.cz/portal/?action=2&doc=7943&instance=1>.
- [17] **Buchholz, Drik.** *Bin-picking: new approaches for a classical problem*. Cham : Springer, 2015. ISBN 978-3-319-26498-1.
- [18] *Systémy logistiky*. [Online] 31. Leden 2018. [Citace: 20. 11 2018.] <https://www.systemylogistiky.cz/2018/01/31/nasa-vyuziva-kolaborativniho-robotu-universal-robots-k-inovaci-vyrobnich-procesu/>.

[19] *Nikkei Asian Review*. [Online] 1. Únor 2018. [Citace: 20. 11 2018.]  
<https://asia.nikkei.com/Editor-s-Picks/Japan-Update/Hitachi-Fanuc-AI-startup-forming-automation-joint-venture>.

[20] **Ford, Martin**. *Roboti nastupují: automatizace, umělá inteligence a hrozba budoucnosti bez práce*. Praha : Rybka Publishers, 2017. ISBN 978-80-87950-46-3.

