

Vizuální inspekční aplikace pro kontrolu kvality robotickým manipulátorem

Radim Měrka

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Radim Měrka
Osobní číslo:	A21394
Studijní program:	B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci
Specializace:	Inteligentní systémy s roboty
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vizuální inspekční aplikace pro kontrolu kvality robotickým manipulátorem
Téma práce anglicky:	Visual Inspection Applications for Quality Control Using a Robotic Manipulator

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vytipujte vhodný robotický manipulátor pro inspekční aplikace a výběr zdůvodněte.
3. Proveďte sadu měření opakovatelnosti a přesnosti vybraného robotického manipulátoru.
4. Navrhněte vhodné inspekční systémy pro nasazení na robotický manipulátor.
5. Pro zvolený vizuální inspekční systém vytvořte komunikační protokol a uživatelské rozhraní na panelu robota.
6. Aplikaci otestujte a navrhněte aplikace vhodné pro zvolené řešení.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
2. PHUYAL, Sudip; BISTA, Diwakar a BISTA, Rabindra. Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. Online. Sustainable Futures. 2020, roč. 2. ISSN 26661888. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sfsr.2020.100023>.
3. LIU, Zhenlei; WANG, Dan; LI, Yueyue; ZHU, Wanan; NI, Haotian et al. Virtual Simulation and Experiment of Quality Inspection Robot Workstation. Online. Applied Sciences. 2024, roč. 14, č. 13. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app14135778>.
4. LONČAREVIĆ, Zvezdan; GAMS, Andrej; REBERŠEK, Simon; NEMEC, Bojan; ŠKRABAR, Jure et al. Specifying and optimizing robotic motion for visual quality inspection. Online. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2021, roč. 72. ISSN 07365845. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102200>.
5. AO, Yanjie. Design and Application of Robot Vision Inspection System for Semiconductor Metal Target. Online. In: 2021 3rd International Symposium on Robotics & Intelligent Manufacturing Technology (ISRIMT). IEEE, 2021, s. 464-467. ISBN 978-1-6654-3718-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ISRIMT53730.2021.9597164>.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ľuboš Spaček, Ph.D.**
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **13. prosince 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vytvořit komunikační propojení mezi vizuální inspekční aplikací a kolaborativním robotem pomocí protokolu Modbus TCP/IP a navrhnout uživatelské rozhraní HMI pro ovládání inspekčního procesu na panelu robota. Teoretická část se věnuje popisu a vývoji kolaborativních robotů, jejich základním vlastnostem a rozdílům oproti tradičním průmyslovým robotům. Dále je zde popsáno strojové vidění a vizuální inspekce. Nedílnou součástí teoretické části je popis komunikačního protokolu Modbus, jeho variant a principu fungování. Praktická část se zabývá propojením vizuální inspekční aplikace SANEZOO s robotem ABB GoFa, nastavením inspekčních zón a praktickým ověřením funkčnosti systému při detekci povrchových vad.

Klíčová slova: Modbus, strojové vidění, vizuální inspekce, kolaborativní robot, ABB

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to create a communication between a visual inspection application and a collaborative robot using Modbus TCP/IP protocol and to create an HMI user interface to control the inspection process on the robot panel. The theoretical part is devoted to the description and development of collaborative robots, their basic characteristics and differences from traditional industrial robots. Machine vision and visual inspection are also described. An integral part of the theoretical part is a description of the Modbus communication protocol, its variants and its principle of operation. The practical part deals with the connection of the SANEZOO visual inspection application with the ABB GoFa robot, setting up inspection zones and practical verification of the system's functionality in detecting surface defects.

Keywords: Modbus, machine vision, visual inspection, collaborative robot, ABB

Rád bych poděkoval Ing. Matúšovi Remišovi a jeho kolegům z firmy SANEZOO za sdílení know-how v oblasti strojového vidění a vizuální inspekce a za jejich ochotu a pomoc. Dále bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, Ing. Ľubošovi Spačkovi, Ph.D., za jeho čas a ochotu při vedení práce, jeho pomoc a odborné rady. Taktéž bych chtěl poděkovat rodině za podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KOLABORATIVNÍ ROBOTI V PRŮMYSLU.....	13
1.1 HISTORIE KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ.....	13
1.2 VÝROBCI KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ.....	14
1.2.1 ABB.....	15
1.2.2 Universal Robots.....	15
1.2.3 KUKA	16
1.2.4 FANUC	17
1.3 ROZDÍLY S TRADIČNÍMI ROBOTY	18
1.3.1 Bezpečnost	18
1.3.2 Flexibilita a programování	19
1.3.3 Rychlost a nosnost.....	19
1.3.4 Aplikace a využití.....	19
1.3.5 Náklady a návratnost investic	20
1.4 KOLABORATIVNÍ ROBOT GoFA	20
1.4.1 Bezpečnost	21
1.4.2 Vlastnosti.....	21
2 STROJOVÉ VIDĚNÍ.....	23
2.1 HISTORIE STROJOVÉHO VIDĚNÍ	23
2.2 VÝROBCI PRŮMYSLOVÝCH KAMER.....	24
2.2.1 Cognex	24
2.2.2 Keyence.....	25
2.2.3 SICK.....	25
2.2.4 OMRON	26
2.2.5 Basler.....	27
2.2.6 DALSA.....	28
2.3 OSVĚTLENÍ.....	28
2.3.1 Typy osvětlení	29
2.4 VIZUÁLNÍ INSPEKCE	31
2.4.1 Typy vizuální inspekce.....	32
2.5 SANEZOO	33
2.6 METROLOGIE.....	34
2.6.1 Historie metrologie.....	34
2.6.2 Typy metrologie	35
3 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL MODBUS.....	36
3.1 VARIANTY PROTOKOLU MODBUS.....	36
3.1.1 Modbus RTU.....	36

3.1.2	Modbus ASCII.....	37
3.1.3	Modbus TCP/IP.....	37
3.2	DATOVÝ MODEL MODBUS	37
3.3	KÓDY FUNKCÍ PROTOKOLU MODBUS TCP/IP A MODBUS RTU	38
3.4	STRUKTURA ZPRÁVY PROTOKOLU MODBUS RTU	38
3.5	STRUKTURA ZPRÁVY PROTOKOLU MODBUS TCP/IP	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
4	VIZUÁLNÍ INSPEKČNÍ APLIKACE SANEZOO	41
4.1	KALIBRACE KAMERY	42
4.2	VYTVOŘENÍ SNÍMKU SE STŘEDNÍ HODNOTOU	43
4.3	MASKA A ZÓNA	44
4.4	NASTAVENÍ VIEW KEY	45
5	PROTOKOL UNITY	47
5.1	VYTVOŘENÍ ZPRÁVY MODBUS.....	47
5.1.1	Vytvoření zprávy pro zápis Holding registrů	47
5.1.2	Vytvoření zprávy pro čtení Input registrů	48
5.1.3	Vytvoření zprávy pro zápis Single Coil	49
5.2	FUNKCE UNITY.....	49
5.2.1	UnityConnectToServer.....	50
5.2.2	UnityDisconnect.....	51
5.2.3	UnitySendMsg.....	51
5.2.4	UnityRecvMsg.....	51
5.2.5	UnityModeProduction	52
5.2.6	UnityModeFixer	53
5.2.7	UnityViewKey.....	54
5.2.8	UnitySetSerialNumber	54
5.2.9	UnityTrigger.....	55
5.2.10	UnityReadResult.....	55
5.2.11	UnityMain.....	56
5.2.12	UnityTest.....	56
5.3	LOGIKA PROGRAMU.....	57
6	NÁVRH HMI APLIKACE.....	58
7	PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI SYSTÉMU	61
	ZÁVĚR.....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK.....	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74

ÚVOD

Automatizace výrobních procesů je dnes nezbytným krokem ke zvýšení efektivity, přesnosti a konzistence výroby. Jednou z moderních technologií, která nachází široké uplatnění v průmyslové automatizaci je strojové vidění. V kombinaci s robotickým manipulátorem umožňuje provádět vizuální inspekci výrobků z různých úhlů a v definovaných pozicích, což zvyšuje kvalitu a spolehlivost kontroly. Tato práce se zaměřuje na návrh a realizaci systému, který propojuje strojové vidění s kolaborativním robotem pro automatickou detekci povrchových vad.

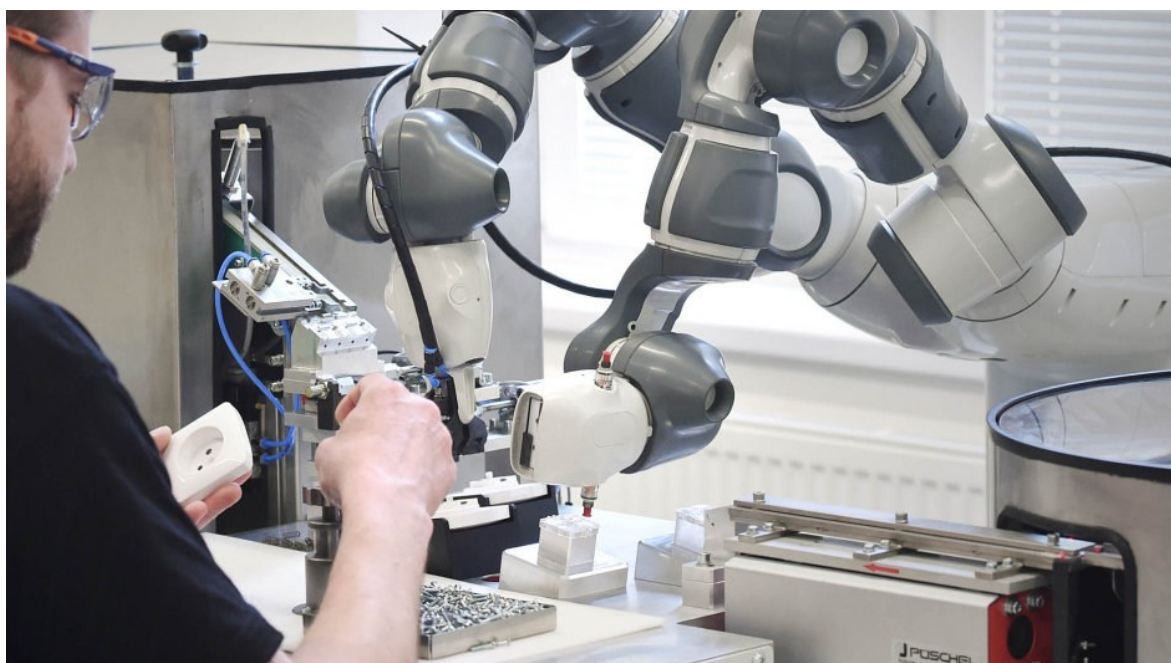
Teoretická část práce v Kapitole 1 popisuje kolaborativní roboty, jejich historií, výrobce kolaborativních robotů, rozdíly mezi kolaborativními roboty s tradičními průmyslovými roboty a následně přesný popis kolaborativního robota GoFa společnosti ABB. Kapitola 2 se zabývá principem strojového vidění, historií strojového vidění, výrobci průmyslových kamer, osvětlením a jejich typy, vizuální inspekci a následně metrologií. Kapitola 3 se zabývá popisem komunikačního protokolu Modbus, jeho variantami, datovým modelem, kódy funkcí pro varianty protokolu Modbus TCP/IP a RTU a strukturou zprávy těchto variant komunikačního protokolu.

Praktická část práce začíná Kapitolou 4, ve které je popsána vizuální inspekční aplikace společnosti SANEZOO, kalibrace kamery a vytvoření snímku se střední hodnotou následuje vytvoření masky, definování zón rozsahu poškození a nakonec nastavení tzv. *view key*. Kapitola 5 se věnuje popisu a zobrazení vytvoření Modbus zpráv pro zápis a čtení dat v jazyce RAPID. Dále popisuje jednotlivé funkce programu, které slouží ke komunikaci a řízení inspekčního procesu, rovněž vytvořené v jazyce RAPID, a také logiku programu pro pořízení snímku k vizuální inspekci. Kapitola 6 popisuje návrh a jednotlivé funkce HMI aplikace. Kapitola 7 uzavírá praktickou část praktickým ověřením funkčnosti celého řešení pomocí vizuální inspekce frézované plochy bloku motoru.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 KOLABORATIVNÍ ROBOTI V PRŮMYSLU

Kolaborativní robot, známý také jako kobot, přináší nové možnosti automatizace v průmyslu. Tento typ robotů je navržen pro širokou škálu výrobních operací, díky čemuž jsou ideální pro přímou spolupráci s pracovníky ve výrobě. Mezi hlavní výhody patří rychlá implementace, intuitivní programování, snadné přizpůsobení novým výrobním procesům, rychlé nastavení a vysoká úroveň bezpečnosti při práci s lidmi. [1][2]



Obrázek 1: Kolaborativní robot v průmyslu [3]

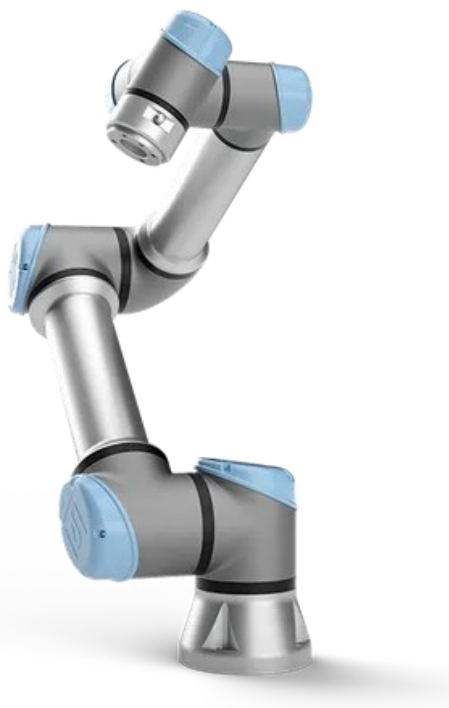
Kolaborativní robot zajišťuje konzistentní kvalitu a vysokou přesnost i při opakovaných výrobních cyklech. Pomáhají zlepšovat přesnost procesů, snižovat zmetkovitost a zároveň minimalizovat riziko nehod a úrazů na pracovišti, zejména při fyzicky náročných činnostech. V průmyslu nacházejí uplatnění při montáži, svařování, kontrole kvality, balení i při sestavování malých elektronických součástek a dílů. [1][2]

1.1 Historie kolaborativních robotů

Historie kolaborativních robotů se začala psát v 90. letech 20. století, kdy se poprvé objevila potřeba robotů schopných bezpečně spolupracovat s lidmi. Tradiční průmyslové roboty byly do té doby izolovány v ochranných klecích, aby nedošlo k úrazu pracovníků. Vývoj kolaborativních robotů však přinesl revoluci v přístupu k automatizaci. [3][5][6]

V roce 1996 byl představen patent na kolaborativního robota, který vyvinuli J. Edward Colgate a Michael Peshkin na Northwestern University. Tento patent popsal robotický systém, který mohl být integrován s lidským operátorem bez rizika zranění. [7]

V roce 2004 německá společnost KUKA představila model LBR3, což byl první kolaborativní robot s vlastním zdrojem energie pro pohyb. V roce 2005 byla založena společnost Universal Robots, která v roce 2008 představila první model UR5, který se stal průlomovým díky své snadné programovatelnosti. [6][8]



Obrázek 2: Kolaborativní robot UR5 [5]

Od roku 2010 se kolaborativní roboti staly běžnou součástí výrobních linek. Firmy jako KUKA, FANUC a ABB začaly nabízet své vlastní kolaborativní roboty, což výrazně urychlilo jejich rozšíření. [3][9][10]

1.2 Výrobci kolaborativních robotů

Kolaborativní roboti jsou jednou z nejrychleji se rozvíjejících oblastí v průmyslové automatizaci, která stále více mění podobu moderní výroby. Na trhu působí řada společností nabízejících různé typy robotů, které se liší nosností, dosahem, rychlostí, přesností a také způsobem využití. [5][11][12]

1.2.1 ABB

ABB (Asea Brown Boveri) je švédsko-švýcarská nadnárodní korporace, která patří mezi přední světové lídry v oblasti automatizace a strojírenství. Je známa vývojem inovativních, spolehlivých a inteligentních průmyslových robotů, robotických pracovních buněk a pokročilého softwaru. Společnost si zároveň získala uznání díky průlomovým inovacím v oblasti elektrifikace a automatizace, které přispívají k efektivnější, udržitelnější a bezpečnější průmyslové výrobě. [3]

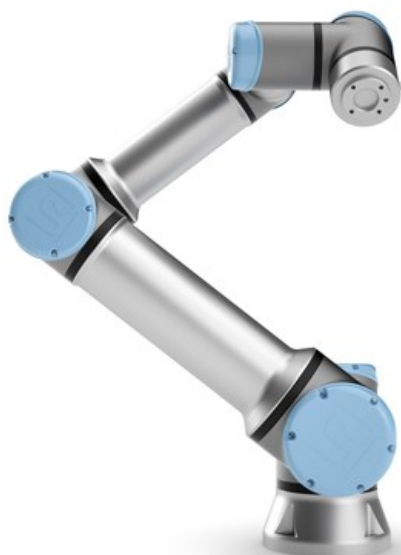


Obrázek 3: Kolaborativní robot IRB 14000 YuMi [12]

S více než 140 lety historie a s více než 105 000 zaměstnanci působícími po celém světě se ABB zavazuje k neustálému inovování a poskytování špičkových technologií, které pomáhají transformovat průmysl a zvyšovat efektivitu výroby v nejrůznějších odvětvích. [3]

1.2.2 Universal Robots

Universal Robots je dánská technologická společnost specializující se na vývoj inovativních, flexibilních a snadno programovatelných kolaborativních robotů, které umožňují firmám všech velikostí automatizovat výrobní procesy. Její produkty vynikají intuitivním ovládáním, bezpečností a schopností bezpečně spolupracovat s lidskými operátory. [13]



Obrázek 4: Kolaborativní robot UR16e [5]

Od svého založení v roce 2005 si Universal Robots získala uznání díky revolučním technologiím, které zpřístupnily automatizaci i malým a středním podnikům. Se silným zaměřením na inovace a neustálý vývoj se společnost zavazuje poskytovat spolehlivé a flexibilní řešení, která zvyšují produktivitu a zlepšují pracovní podmínky v moderním průmyslu. [8][13]

1.2.3 KUKA

KUKA je čínská nadnárodní společnost působící ve více než 50 zemích světa s přibližně 15 000 zaměstnanci. Jako jeden z předních světových poskytovatelů inteligentních automatizačních řešení nabízí průmyslové roboty včetně řídicích jednotek, softwaru a cloudových digitálních služeb. Díky své dlouholeté expertize a inovativnímu přístupu si KUKA vybuodovala silnou pozici v automobilovém, leteckém i zdravotním průmyslu. [14]



Obrázek 5: Kolaborativní robot LBR iiwa 7 R800 [14]

Společnost se neustále zaměřuje na technologický pokrok a vývoj inovativních řešení, která zvyšují flexibilitu, efektivitu a bezpečnost výroby. Dnes patří KUKA mezi přední světové dodavatele inteligentních řešení pro Průmysl 4.0. [14]

1.2.4 FANUC

S více než šedesáti letou praxí v oblasti vývoje CNC zařízení a více než 8000 zaměstnanci je FANUC jedním z předních světových výrobců průmyslové automatizace a robotiky. Specializuje se na vývoj a výrobu pokročilých průmyslových robotů, CNC řídicích systémů, laserových zařízení a dalších automatizačních technologií. FANUC je známý svou vysokou spolehlivostí, dlouhou životností a inovativními řešeními. [9][15]



Obrázek 6: Kolaborativní robot CRX-5iA [15]

FANUC se neustále zaměřuje na technologický pokrok a poskytování špičkových automatizačních řešení, která pomáhají firmám optimalizovat výrobní procesy a zvyšovat produktivitu. Společnost hraje klíčovou roli v transformaci průmyslové výroby a podporuje rozvoj Průmyslu 4.0 díky svým inteligentním robotickým systémům. [15]

1.3 Rozdíly s tradičními roboty

V dnešní době, kdy průmyslová automatizace zásadně mění výrobní odvětví, hrají klíčovou roli dva základní typy robotických systémů: kolaborativní robot a tradiční průmyslový robot. Přestože oba typy slouží ke zvýšení efektivity, produktivity a bezpečnosti výrobních procesů, jejich specifické vlastnosti a odlišné aplikace je činí vhodnými pro různé průmyslové operace. [16][17]

Hlavní rozdíly mezi těmito dvěma robotickými systémy spočívá v jejich bezpečnosti, způsobu programování, rychlosti, nosnosti a oblasti využití. [16][17]

1.3.1 Bezpečnost

Kolaborativní roboti jsou navrženi s důrazem na maximální bezpečnost, jelikož jsou určeni pro společnou práci s lidmi ve společném pracovním prostoru. Jsou vybaveni senzory síly a točivého momentu, které jim umožňují detekovat a reagovat na kontakt s lidmi nebo předměty a následně zastavit nebo zpomalit jejich pohyb, aby se zabránilo nehodám. Kromě

toho mají kolaborativní roboti často zaoblené hrany a měkké polstrování, aby se minimalizovalo zranění v případě kontaktu. [16][17]

Naproti tomu průmyslové roboty jsou obvykle odděleny bezpečnostními klecemi nebo bariérami kvůli jejich rychlosti, síle a velikosti, které mohou představovat riziko pro lidské pracovníky. Přestože jsou tyto roboty vybaveny bezpečnostními prvky jako tlačítka nouzového zastavení a monitorované vstupy, jejich primární zaměření spočívá v přesnosti a výkonu než v přímé interakci s člověkem. [16][17]

1.3.2 Flexibilita a programování

Kolaborativní roboti jsou navrženi tak, aby byli vysoce flexibilní a přizpůsobiví, což umožňuje jejich snadnou konfiguraci pro různé úkoly a aplikace. Díky intuitivním uživatelským rozhraním je mohou programovat i pracovníci bez pokročilých technických znalostí. Jejich kompaktní řešení umožňují snadné přemístění napříč různými částmi výrobního procesu, což je velmi vhodné pro malé a střední podniky. [16][17]

Průmyslové roboty jsou naopak méně flexibilní a přizpůsobivé. Často jsou navrženy pro specifické úkoly a vyžadují více času a odborných znalostí k přeprogramování. Vzhledem k jejich větším rozměrům a vyšší hmotnosti je jejich pohyb a integrace do nových pracovních prostředí výrazně složitější. [16][17]

1.3.3 Rychlost a nosnost

Kolaborativní roboti díky své konstrukci, která je přizpůsobena pro bezpečnou interakci s člověkem obvykle pracují pomaleji a mají nižší nosnost. Tyto vlastnosti je činí ideální pro lehké a přesné úkoly, které vyžadují lidskou spolupráci. [16][17]

Tradiční průmyslové roboty jsou naopak výkonnější a rychlejší, díky čemuž jsou vhodnější pro náročné operace, které vyžadují vysokou rychlost a sílu. Tyto roboty jsou díky svým vlastnostem ideální pro těžký průmysl. [16][17]

1.3.4 Aplikace a využití

Kolaborativní roboti jsou zvláště vhodní pro úkoly, které vyžadují flexibilitu, přesnost a přizpůsobivost, jako je montáž, kontrola kvality nebo manipulace s lehkými materiály. Robot může například spolupracovat s lidským pracovníkem při sestavování malých elektronických součástek, čímž je montáž nejen přesná, ale i efektivní. [16][17]

Naopak průmyslové roboty dominují v automatizovaných výrobních linkách, kde je klíčová rychlost, přesnost a vysoká nosnost. Jsou ideální pro operace jako obrábění, balení, manipulace s nebezpečným materiálem nebo lakování. Průmyslový robot může být například použit pro vysokorychlostní a vysoce přesné svařování na montážní lince pro automobily, čímž je zajištěna stálá kvalita sníženo riziko zranění lidského pracovníka. [16][17]

1.3.5 Náklady a návratnost investic

Kolaborativní roboti vyžadují oproti průmyslovým robotům menší náklady na instalaci, což z nich činí ideální řešení pro malé a střední podniky. Jejich snadná programovatelnost a integrace mohou vést ke snížení nákladů na nastavení a školení. Kromě toho mohou být kolaborativní roboti používáni bez potřeby nákladné bezpečnostní infrastruktury, jako jsou klece nebo bariéry, což dále snižuje náklady. [16][17]

Průmyslové roboty, i když mají často vyšší počáteční investice, mohou výrazně snížit výrobní náklady v dlouhodobém horizontu díky jejich zvýšené účinnosti a produktivitě. Nicméně, jejich instalace a integrace vyžadují rozsáhlejší bezpečnostní infrastrukturu, což může zvyšovat počáteční náklady a časovou náročnost na školení a údržbu. [16][17]

1.4 Kolaborativní robot GoFa

GoFa od společnosti ABB je kolaborativní průmyslový robot navržený pro širokou škálu aplikací v automatizaci kde je vyžadována flexibilita, bezpečnost a produktivita. Díky své vysoké nosnosti a rychlosti je ideální pro manipulaci s materiály, montáž, svařování či obsluhu strojů. Pokročilé bezpečnostní funkce umožňují těsnou spolupráci s člověkem bez nutnosti ochranných bariér. [18]



Obrázek 7: Kolaborativní robot CRB 15000 GoFa [18]

Jednou z výhod je jeho snadná programovatelnost a intuitivní ovládání, což usnadňuje jeho integraci do různých průmyslových prostředí. Díky své konstrukci a pohyblivosti dokáže efektivně pracovat v omezeném prostoru. [18]

1.4.1 Bezpečnost

Bezpečnost je klíčovým aspektem kolaborativního robota GoFa, který je vybaven pokročilými momentovými senzory ve všech kloubech, které neustále monitorují sílu a tlak působící na robota. Díky zaoblené konstrukci minimalizující možnost poranění zachycením či sevřením a automatickému okamžitému zastavení při kontaktu s člověkem nebo překážkou je zajištěn vysoký stupeň bezpečnosti. [18]

Robot GoFa byl navržen s důrazem na jednoduchou konfiguraci a intuitivní ovládání. Díky grafickým aplikacím ovládaným přímo z ruční jednotky FlexPendant a možnosti ručního navádění lze robotem plynule a hladce pohybovat, což usnadňuje jeho nastavení a minimalizuje možnost lidské chyby při jeho nastavování a používání. [18]

1.4.2 Vlastnosti

Za pomoci své kompaktní konstrukce s vysokou flexibilitou umožňuje robot GoFa rychlé a přesné pohyby s opakovatelností polohování s tolerancí $\pm 0,02$ mm. S maximální rychlostí

2 STROJOVÉ VIDĚNÍ

Strojové vidění je klíčová technologie v oblasti průmyslové automatizace, která umožňuje strojům analyzovat a interpretovat vizuální informace podobně jako lidské oko. Tento systém integruje prvky optiky, sensoriky, výpočetní techniky a umělé inteligence, čímž se zvyšuje efektivita, přesnost kontrolních a výrobních procesů. [19][20][21]

Systém strojového vidění kombinuje hardwarové a softwarové komponenty, které umožňují sběr, zpracování a analýzu obrazových informací z okolního prostředí. Základními komponenty těchto systémů jsou optické senzory, osvětlovací systémy, výkonné procesory a algoritmy strojového vidění. Díky těmto prvkům mohou tyto systémy automaticky identifikovat objekty, detekovat vady, provádět bezkontaktní měření a navigovat autonomní stroje. [19][20][21]

Využití strojového vidění dnes sahá od robotizovaných linek a kontroly kvality až po autonomní vozidla a zdravotnické operace. Vzhledem k neustálému vývoji umělé inteligence a výpočetních technologií se možnosti této technologie neustále rozšiřují, což vede ke zvyšování produktivity, přesnosti a bezpečnosti v průmyslových provozech. [19][20][21]

2.1 Historie strojového vidění

Základy strojového vidění byly položeny v padesátých a šedesátých letech dvacátého století kdy se začaly objevovat první pokusy o digitální zpracování obrazu. V tomto období byly vyvíjeny metody pro analýzu jednoduchých obrazových dat. [22][23][24]

V sedmdesátých letech se technologie posunula dále s vývojem prvních komerčně dostupných systémů strojového vidění. V roce 1978 David Marr vytvořil metodu pro analýzu vizuálních scén pro strojové vidění. Tento přístup umožnil počítačům rekonstruovat 3D obrázky z 2D náčrtů. [22][23][24]

Od osmdesátých let do počátku dvacátého prvního století vstoupil průmysl strojového vidění do období rychlého vývoje doprovázený vznikem klíčových společností jako Basler, Cognex a DALSA. Toto období bylo charakteristické příchodem nových technologií, teoretických přístupů a produktů vhodné pro různé průmyslové a laboratorní operace. [22][23][24]

Od počátku dvacátého prvního století do současnosti došlo k prudkému rozvoji strojového vidění díky pokrokům v oblasti výpočetní techniky, umělé inteligence a neuronových sítí. Dnes představuje strojové vidění oblast výzkumu, která zahrnuje široké spektrum disciplín,

jako je zpracování obrazu, počítačová grafika, rozpoznání vzorů, umělá inteligence a neuronové sítě. [22][23][24]

2.2 Výrobci průmyslových kamer

Průmyslové kamery jsou klíčovou součástí v systémech strojového vidění, kde se používají pro monitorování výroby, měření a kontrolu kvality. Na rozdíl od běžných kamer jsou průmyslové kamery vyrobeny tak, aby odolaly tvrdému průmyslovému prostředí. [25][26]

Průmyslové kamery musí být schopny zachytit vysokorychlostní snímky a obrázky s vysokým rozlišením, což umožňuje podrobnou kontrolu a analýzu rychle se pohybujících objektů. [25][26]

2.2.1 Cognex

Cognex Corporation je americká technologická společnost, která se již přes čtyřicet let specializuje na vývoj a výrobu strojového vidění, optického rozpoznání znaků a průmyslových senzorů pro automatizační výrobu. Společnost má pobočky po celém světě, včetně Evropy, Asie a celé Ameriky. [27]



Obrázek 9: Průmyslová kamera Cognex In-Sight 7000 [27]

Cognex patří mezi světové lídry v oblasti strojového vidění a průmyslové automatizace. Díky neustálým inovacím si Cognex udržuje silnou pozici na trhu a nastavuje nové standardy v oblasti optické kontroly a automatizace výroby. [27]

2.2.2 Keyence

Keyence Corporation je japonská technologická společnost, která se specializuje na vývoj a výrobu vysoce výkonných senzorů, měřicích přístrojů, systémů strojového vidění, čteček kódů a zařízení pro průmyslovou automatizaci. Společnost byla založena v roce 1974 a od té doby si vybudovala pevné postavení na globálním trhu. Keyence působí ve 46 zemích světa a její produkty jsou využívány v široké škále průmyslových odvětví, včetně automobilového, elektronického, potravinářského a farmaceutického průmyslu. [28]



Obrázek 10: Kamerový senzor s umělou inteligencí řady IV4 [28]

Díky důrazu na inovace, vysokou kvalitu produktů a technickou podporu patří Keyence mezi přední dodavatele automatizačních technologií. [28]

2.2.3 SICK

SICK AG je německá technologická společnost, která se řadí mezi přední světové výrobce senzorové techniky pro průmyslovou automatizaci. Společnost byla založena v roce 1946 v Německu a dnes má pobočky a zastoupení ve více než 90 zemích světa. SICK se specializuje na vývoj a výrobu inteligentních senzorů a systémových řešení pro detekci, měření, identifikaci a bezpečnost v průmyslových procesech. [29]



Obrázek 11: Průmyslová kamera Inspector83x [29]

Produkty společnosti nacházejí uplatnění v oblasti logistiky, automobilového průmyslu, potravinářství, robotiky i procesní automatizace. Díky své schopnosti inovovat a přizpůsobovat se potřebám moderní výroby patří SICK mezi technologické lídry v oblasti průmyslové sensoriky. [29]

2.2.4 OMRON

Omron Corporation je japonská technologická společnost, která se specializuje na vývoj a výrobu automatizačních řešení, senzorů, řídicích systémů a zdravotnických zařízení. Společnost byla založena v roce 1933. OMRON patří mezi přední světové dodavatele v oblasti průmyslové automatizace a její produkty se využívají v širokém spektru odvětví, jako je výroba, potravinářství, farmacie, automobilový průmysl a logistika. [30]



Obrázek 12: Průmyslová kamera MicroHAWK F440-F [30]

OMRON je známý svým důrazem na inovace, kvalitu a udržitelnost a aktivně přispívá k rozvoji konceptu inteligentní výroby v duchu Průmyslu 4.0. [30]

2.2.5 Basler

Basler je německá technologická společnost, která je jedním z předních mezinárodních výrobců vysoce kvalitních kamerových systémů a komponent pro strojové vidění. Její produkty nacházejí uplatnění v automatizaci, logistice, medicíně, dopravě a řadě dalších odvětvích. [31]



Obrázek 13: Průmyslová kamera Basler ace 2 [31]

Dnes společnost Basler zaměstnává kolem 850 zaměstnanců po celém světě, včetně Evropy, Asie a Severní Ameriky. Díky široké nabídce produktů, inovativních technologií a vysoké

kvalitě svých řešení splňuje rostoucí požadavky průmyslu 4.0 a umělé inteligence v automatizaci. [31]

2.2.6 DALSA

Teledyne DALSA je kanadská společnost specializující se na vývoj a výrobu obrazových senzorů, průmyslových kamer a systémů pro strojové vidění. Produkty společnosti se využívají v automatizaci, lékařství, vědeckém výzkumu, polovodičovém průmyslu a dalších odvětvích. [32]



Obrázek 14: Průmyslová kamera DALSA BOA [32]

DALSA je jedním z mezinárodních lídrů v oblasti pokročilých digitálních zobrazovacích technologií a polovodičových řešení s více než 1000 zaměstnanci po celém světě. Díky svým inovativním technologiím a vysoké kvalitě produktů se řadí mezi přední dodavatele kamerových systémů. [32]

2.3 Osvětlení

Osvětlení patří mezi další klíčový prvek pro systémy strojového vidění. Úkolem osvětlení je dosáhnout maximálního kontrastu a detailů těch částí objektu, které jsou nezbytné pro danou inspekční úlohu. Zároveň by mělo minimalizovat viditelnost těch částí objektu, které nejsou důležité pro danou inspekční úlohu, čímž se zajišťuje konzistentnost a spolehlivost celého systému. [33]

Klíčovou technologií v systémech strojového vidění je filtrace obrazu, která zlepšuje kvalitu snímků, umožňuje spolehlivější analýzu a vyhodnocení vizuálních dat. Filtry mohou

eliminovat nežádoucí optické jevy, jako jsou odlesky a šum, a tím zvýšit kontrast a ostrost snímků. Pro zvýraznění objektu se používají různé typy filtrů, například polarizační, infračervené nebo barevné. [34][35]

2.3.1 Typy osvětlení

V současnosti jsou LED diody nejčastěji využívaným světelným zdrojem v osvětlovacích systémech. Mezi hlavní výhody patří snadná regulace světelného toku, nízké napěťové nároky a dlouhá životnost. LED diody si udržují stabilní vyzařovací vlastnosti, které se mění jen minimálně. [33]

2.3.1.1 Podsvícení

Podsvícení je metoda osvětlení, při níž je světelný zdroj umístěn za kontrolovaný objekt, zatímco kamera jej snímá v kolmém směru. Tato metoda vytváří výrazný kontrast mezi objektem a pozadím, čímž umožňuje získání jasné siluety s ostrými okraji. Podsvícení se používá pro kontrolu rozměrů, tvaru objektů, měření nebo kontrole přítomnosti a nepřítomnosti otvorů nebo mezer. [36][37]

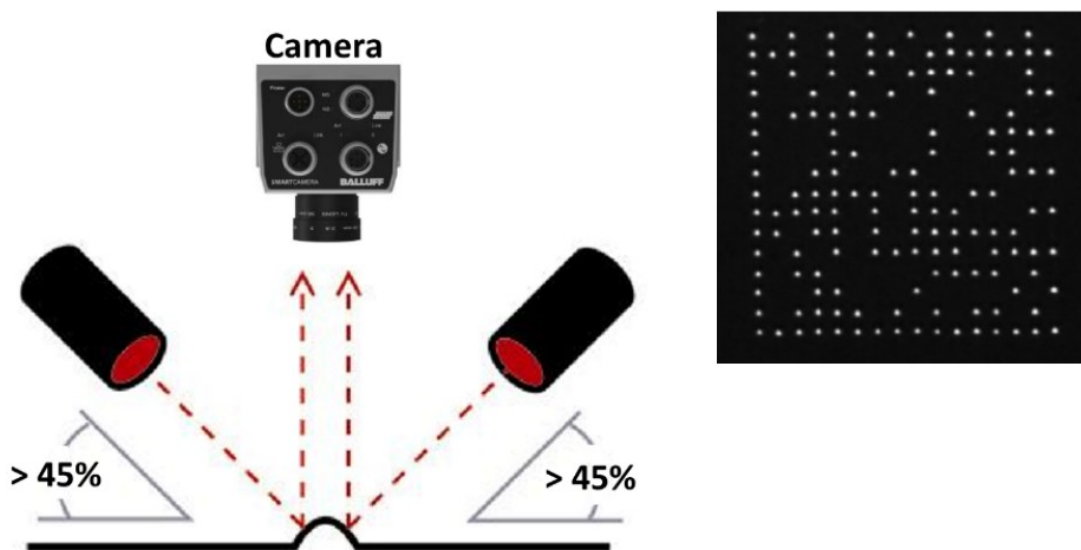


Obrázek 15: Podsvícení [36]

2.3.1.2 Dark-field lighting

U této techniky osvětlení je světlo směřováno pod nízkým úhlem na povrch snímaného objektu. Světelný zdroj se nachází v těsné blízkosti objektu. Díky této technice je povrch na

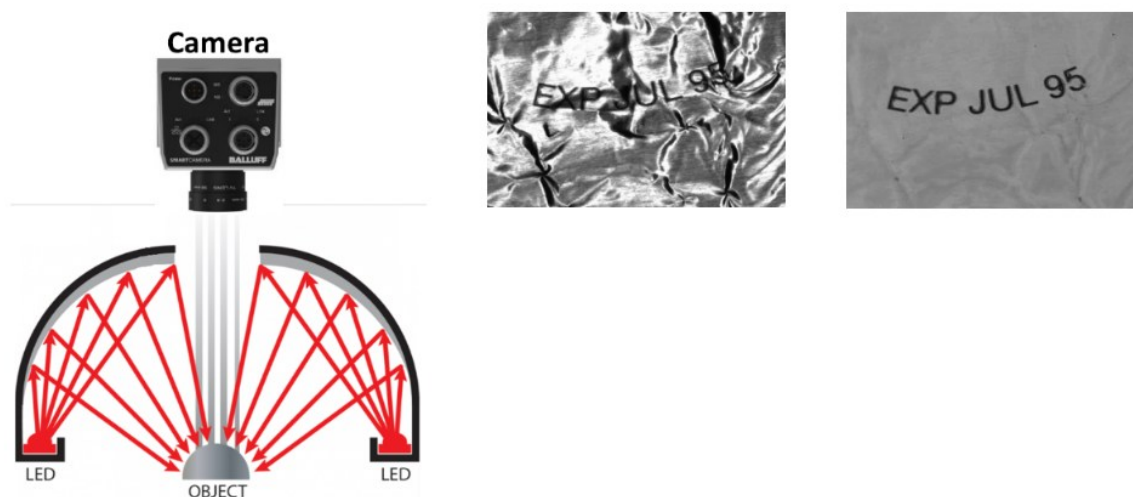
kameře tmavý, zatímco nerovnosti, škrábance, otisky a hrany jsou jasně zvýrazněny. Tato technika se používá pro detekci defektů a struktury v průmyslové inspekci. [36][37]



Obrázek 16: Dark-field osvětlení [36]

2.3.1.3 Kopulovité osvětlení

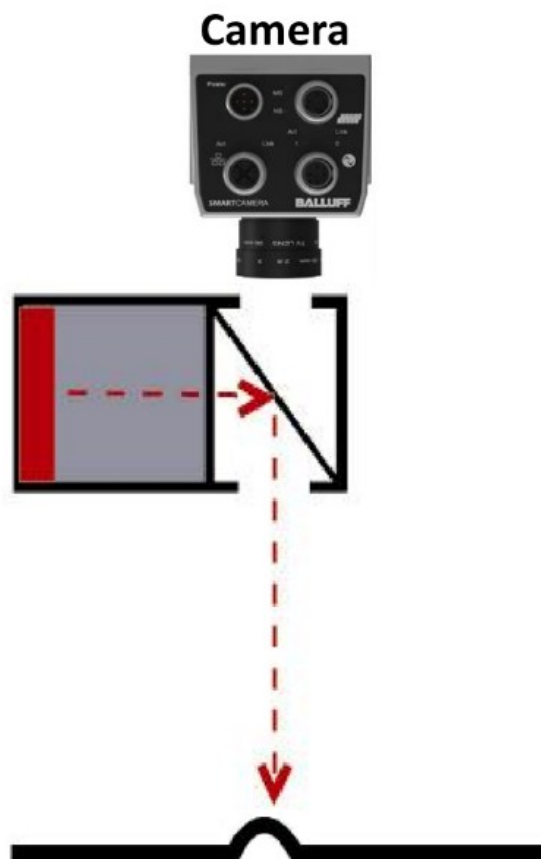
Kopulovité osvětlení je technika, která poskytuje rovnoměrné osvětlení objektu z různých úhlů pomocí zakřivené kopule, která obsahuje LED diody na jejím okraji. Díky tomu se eliminují stíny a zajistí se, že povrch objektu bude osvětlen rovnoměrně ze všech stran. Kopulovité osvětlení se využívá pro inspekci nepravidelných a zakřivených povrchů. [36][37]



Obrázek 17: Kopulovité osvětlení [36]

2.3.1.4 Koaxiální osvětlení

Koaxiální osvětlení je metoda, při níž je světelný paprsek směřován kolmo na polopropustné zrcadlo a pod úhlem 90° je odraženo na povrch objektu. Díky tomu se zvýrazní oblasti, které jsou kolmo ke kameře, zatímco plochy pod jiným úhlem jsou tmavé. Tato technika se používá při inspekci lesklých, rovných nebo vysoce reflexivních povrchů. [36][37]



Obrázek 18: Koaxiální osvětlení [36]

2.4 Vizuální inspekce

Vizuální inspekce je proces zkoumání a hodnocení výrobků, materiálů a zařízení, aby byla zajištěna bezpečnost a kvalita v souladu s průmyslovými normami a předpisy. Tento proces je nezbytnou součástí kontroly kvality v různých průmyslových odvětvích, jako je výroba, automobilový a letecký průmysl nebo stavebnictví. [20][38][39]

Vizuální inspekce se provádí za účelem kontroly výrobků, výrobních procesů, identifikace vad nebo odchylek od požadovaných standardů. Vzhledem k technologickému postupu se vizuální kontrola v posledních letech výrazně rozvinula. Moderní systémy využívají

pokročilé technologie, jako je umělá inteligence a neuronové sítě, které umožňují zvýšit přesnost a efektivitu kontrolního procesu. [20][38][39]

2.4.1 Typy vizuální inspekce

Zatímco některé metody jsou založeny na lidském hodnocení, jiné využívají moderní technologie k automatizované inspekci objektů. Existují hlavní dva typy vizuální inspekce, které se liší způsobem provedení, technologiemi a aplikacemi. [38][39]

2.4.1.1 Manuální vizuální inspekce

Manuální vizuální inspekce je tradiční metoda kontroly kvality, při níž pracovník pouhým okem vizuálně kontroluje výrobky, komponenty nebo materiály, aby odhalil vady, nedostatky nebo případné odchylky. Pracovník provádí kontrolu pomocí lup, mikroskopů nebo zvětšovacích skel. Na těžko přístupná místa používají pracovníci ke kontrole zrcadla, fotoaparáty nebo boreskopy. Tento typ kontroly se provádí v různých průmyslových odvětvích, včetně automobilového, leteckého, elektronického nebo v potravinářství. [40]

2.4.1.2 Automatizovaná vizuální inspekce

Automatizovaná vizuální inspekce je technologický proces, který využívá průmyslové kamery, senzory a pokročile algoritmy k automatizovanému vyhodnocování objektů. Moderní průmyslová automatizace čím dál více spoléhá na pokročilé robotické systémy vybavené strojovým viděním. Tento systém umožňuje detekci mikroskopických vad, škrábanců, koroze nebo chybějících komponentů výrobku. Klíčovou výhodou je schopnost analyzovat a zpracovávat obrazová data s vysokou rychlostí a přesností výrazně převažující manuální kontroly prováděné člověkem. [20][41][42]



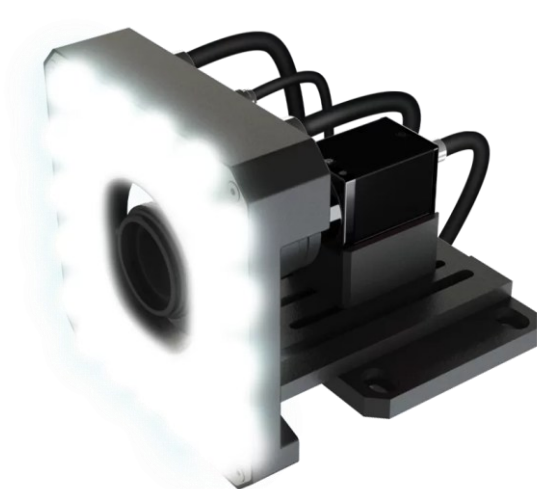
Obrázek 19: Automatizovaná vizuální inspekce [38]

V dnešní době se u automatizovaných systémů využívá umělá inteligence a neuronové sítě, které výrazně zvyšují přesnost, efektivitu a spolehlivost při detekci vad. Kombinací umělé inteligence a strojového učení se systém dokáže učit z historických a nových dat a tím se stává stále přesnějším a rychlejším. Systémy využívající umělou inteligenci se používají pro kontrolu složitých povrchů jako jsou lopatky turbín u letadel nebo pro velmi přesnou kontrolu mikročipů. [20][41][42]

2.5 SANEZOO

Společnost SANEZOO je český technologický startup se sídlem v Brně, založený v roce 2017. Specializuje se na automatizaci vizuální kontroly kvality a navádění robotů pomocí strojového vidění a umělé inteligence. Jejich řešení nacházejí uplatnění v různých průmyslových odvětvích, včetně automobilového průmyslu, elektroniky, zdravotnictví a výroby. Mezi klíčové produkty společnosti patří: [43]

- UNITY: Systém pro vizuální kontrolu kvality, která dokáže detekovat i ty nejmenší povrchové vady. Umožňuje inspekci lesklých, matných i složitě tvarovaných povrchů.
- GRASP: Řešení pro navádění robotů, který umožňuje přesnou manipulaci s objekty na základě 3D vidění. Systém je navržen tak, aby byl flexibilní a snadno implementovatelný. [43]



Obrázek 20: Systém UNITY [43]

V roce 2023 získala společnost SANEZOO zlatou medaili na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně za svůj inteligentní kamerový systém pro vizuální kontrolu kvality. Toto ocenění podtrhuje inovativní přístup firmy k automatizaci a v oblasti strojového vidění. [43]

2.6 Metrologie

Metrologie je věda o měření, která se zabývá teoretickými a experimentálními faktory měření v různých oblastech vědy a techniky. Hlavním cílem metrologie je zajištění přesnosti, opakovatelnosti a srovnatelnosti měření. Věda o měření zahrnuje široké spektrum, sahajících od jednoduchých mechanických měření, jako je měření pomocí posuvného měřítka, až po vysoce přesné měření na mikroskopické a atomární úrovni. [44][45]

Metrologie je nezbytná pro širokou škálu oblastí, od vědeckého výzkumu až po každodenní obchodní a průmyslové procesy. Přesné měření je nezbytné pro zajištění kvality výrobků, dodržování bezpečnostních standardů a správnou funkci moderních technologií. [44][45]

2.6.1 Historie metrologie

V roce 1790, v období francouzské revoluce, byla pověřena Francouzská akademie věd úkolem stanovit jednotný a neměnný standart pro veškeré měření a hmotnosti. Jako základní jednotka délky byl zvolen metr. Tento krok položil základy metrické soustavy. [46][47][48]

V roce 1875 podepsaly Spojené státy společně s dalšími světovými mocnostmi Smlouvu o metru. Smlouva upevnila celosvětové uznání metrického systému jako oficiálního měřicího standardu. To vedlo k položení základů pro mezinárodní spolupráci v oblasti metrologie a vedlo k vytvoření Mezinárodního úřadu pro míry a váhy (BIPM). [46][47][48]

Ve 20. století se metrologie stala klíčovou součástí průmyslu, vědy a obchodu. V roce 1960 byla ustanovena Mezinárodní soustava jednotek (SI), která sjednotila měření na globální úrovni. Toto přijetí usnadnilo standardizaci měření napříč různými regiony a položilo základy pro budoucí pokroky v měřicí vědě a rozvoji přesných měřicích zařízeních. [46][47][48]

2.6.2 Typy metrologie

2.6.2.1 Vědecká metrologie

Vědecká metrologie, známá také jako základní metrologie, se zaměřuje na výzkum a vývoj nových technologií pro přesné měření. Je nezbytná pro celou řadu odvětví, včetně průmyslu, zdravotnictví a komerční výroby. Hlavními oblastmi zaměření vědecké metrologie je vývoj nových měřicích jednotek, systému měřicích jednotek, metod měření, vytváření a údržba měřicích standardů a přenos měřicích standardů uživatelům. [45][48]

2.6.2.2 Právní metrologie

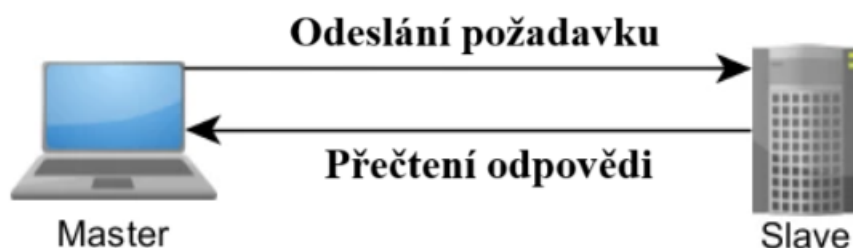
Právní metrologie je oblast metrologie, která se zaměřuje na zajištění, aby měření bylo prováděno v souladu s právními a regulačními požadavky. Tento typ metrologie nepoužívá fyzické přístroje pro měření, ale zaměřuje se na kontrolu správnosti měření a měřicích systémů. Cílem právní metrologie je chránit spotřebitele, životní prostředí a zajistit spravedlivé obchodní praktiky. [45][48]

2.6.2.3 Průmyslová metrologie

Průmyslová metrologie bere nově zavedené měřicí jednotky s ohledem na předpisy a normy a aplikuje je na různé výrobní a průmyslové procesy s cílem zajistit přesnost a kvalitu výrobku a výrobních systémů. Zajišťuje také, že měřicí systémy jsou vhodné, kalibrované a udržovány v optimálním stavu. S rostoucími nároky na přesnost a rychlost měření v moderních průmyslových odvětvích je průmyslová metrologie nezbytná pro udržení a splnění standardů kvality. [45][48]

3 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL MODBUS

Modbus je komunikační protokol, který byl vyvinut v roce 1979 společností Modicon používaný pro průmyslovou automatizaci. Umožňuje komunikaci mezi zařízeními, jako jsou programovatelné automaty (PLC), senzory, pohony a další systémy. Přenos informace mezi dvěma nebo více zařízeními probíhá prostřednictvím sériové linky nebo ethernetu. Díky své jednoduchosti a snadné implementaci se stal jedním z nejrozšířenějších komunikačních protokolů. [49][50][51]



Obrázek 21: Komunikace master-slave [49]

Zařízení komunikující prostřednictvím protokolu Modbus využívají techniku master-slave, kde pouze jedno zařízení, označované jako master, může iniciovat komunikaci. Ostatní zařízení, označované jako slave, poskytují data nebo vykonávají příslušné akce požadované v dotazu od master. Podřízená zařízení nemohou sama od sebe zahájit komunikaci nebo odesílat data. Typicky plní roli master systém HMI nebo SCADA a slave bývá například senzor, PLC, ventil nebo měřící zařízení. [49][50][51]

3.1 Varianty protokolu Modbus

Protokol Modbus existuje v několika variantách, které se liší způsobem přenosu dat a použitím v různých aplikacích. Hlavní varianty protokolu jsou Modbus RTU, Modbus ASCII a Modbus TCP/IP. [50][52]

3.1.1 Modbus RTU

Modbus RTU je binární implementace komunikačního protokolu Modbus, obvykle je používán přes sériovou komunikaci, jako je RS-232 a RS-485. Tento formát zajišťuje efektivní a rychlý přenos dat. Jednou z klíčových vlastností je použití cyklické kontroly redundance (CRC), která zajišťuje integritu přenášených dat. V rámci komunikace obsahuje každá zpráva kontrolní pole CRC, které slouží pro detekci chyb vzniklých během přenosu.

Díky této efektivitě a spolehlivosti je zjednodušena jeho implementace do průmyslového zařízení. [50][52]

3.1.2 Modbus ASCII

Modbus ASCII využívá ASCII kódování pro přenos dat. Na rozdíl od Modbus RTU, který pracuje v binárním formátu, Modbus ASCII používá znaky čitelné člověkem, což umožňuje snazší čtení a ladění. Kvůli nižší rychlosti a účinnosti je dnes méně používaný než Modbus RTU. [50][52]

3.1.3 Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP je síťový komunikační protokol, který umožňuje přenos dat pomocí ethernetových sítí. Díky tomu poskytuje rychlejší přenos dat, vyšší škálovatelnost a možnost propojení většího množství zařízení. Data jsou přenášena v paketech kompatibilních se standardní sítíovou infrastrukturou. Jednou z hlavních výhod je možnost připojení zařízení na velké vzdálenosti a snadná integrace do síťových systémů. [50][52]

3.2 Datový model Modbus

Datový model slouží k organizaci a správě dat, která jsou přenášena mezi master a slave zařízení. V Modbus protokolu jsou data organizována do čtyř základních typů, která definují způsob ukládání, čtení a zápis dat. [49][52][53]

Tabulka 3: Datový model Modbus

Blok paměti	Datový typ	Přístup	Adresa
Cívky (Coils)	Boolean	Čtení/Zápis	1-9999
Diskrétní vstupy (Discrete Inputs)	Boolean	Pouze čtení	10001-19999
Vstupní registry (Input Register)	Unsigned Word	Pouze čtení	30001-39999
Uchovávací registry (Holding Register)	Unsigned Word	Čtení/Zápis	40001-49999

[53]

Každý blok paměti může mít vlastní adresní prostor, ale v některých případech se mohou překrývat. Modbus definuje adresní prostor pro každý datový blok až do velikosti 65 536 znaků. V rámci protokolové datové jednotky (PDU) jsou jednotlivé datové prvky adresovány v rozsahu 0 až 65 535. Tato adresace a způsob organizace paměti umožňuje efektivní přenos dat mezi řídicími systémy a koncovými zařízeními. [49][52][53]

3.3 Kódy funkcí protokolu Modbus TCP/IP a Modbus RTU

Kód funkce sděluje serveru, ke které tabulce má přistupovat a zda má číst nebo zapisovat. Modbus TCP/IP a RTU používají stejnou logiku a stejné funkční kódy. [54][56]

Tabulka 4: Kódy funkcí protokolu Modbus TCP/IP a Modbus RTU

Kód funkce	Popis funkce		Hodnota	Přístup
01(0x01)	Čtení DO	Čtení stavu cívky	Diskrétní	Čtení
02(0x02)	Čtení DI	Čtení stavu vstupu	Diskrétní	Čtení
03(0x03)	Čtení AO	Čtení holding registrů	16bitová	Čtení
04(0x04)	Čtení AI	Čtení vstupních registrů	16bitová	Čtení
05(0x05)	Zápis jednoho DO	Nastavení stavu jedné cívky	Diskrétní	Zápis
06(0x06)	Zápis jednoho AO	Nastavení jednoho registru	16bitová	Zápis
15(0x0F)	Zápis více DO	Nastavení stavu více cívek	Diskrétní	Zápis
16(0x10)	Zápis více AO	Nastavení více registrů	16bitová	Zápis

[54][56]

3.4 Struktura zprávy protokolu Modbus RTU

Zpráva protokolu Modbus RTU se skládá z adresy zařízení (SlaveID), kódu funkce, speciálních dat v závislosti na kódu funkce a kontrolního součtu CRC. [54][55]

Tabulka 5: Struktura zprávy protokolu Modbus RTU

SlaveID	Kód funkce	Speciální data	CRC
---------	------------	----------------	-----

[54]

- Adresa zařízení (SlaveID) – Identifikuje konkrétní zařízení slave v síti. Může nabývat hodnot v rozsahu 0 až 247, přičemž adresy od 248 do 255 jsou vyhrazeny pro speciální účely.
- Kód funkce – Určuje typ požadavku, například pro čtení nebo zápis.
- Datová část – Obsahuje specifické informace, například adresy registrů nebo hodnoty dat.
- Kontrolní součet CRC – Slouží k detekci chyb při přenosu dat a zajišťuje integritu komunikace. [54][55]

Pokud odstraníme pole SlaveID a kontrolní součet CRC, zůstane PDU, tedy datová jednotka protokolu, která zahrnuje pouze kód funkce a datovou část. [54][55]

3.5 Struktura zprávy protokolu Modbus TCP/IP

Struktura rámce pro zasílání zpráv v protokolu Modbus TCP je navržena s cílem usnadnit komunikaci v sítích Ethernet. Přestože si Modbus TCP zachovává určité podobnosti s rámcem Modbus RTU, přidává další pole odpovídající požadavkům síťového připojení prostřednictvím Ethernetu. [55][56]

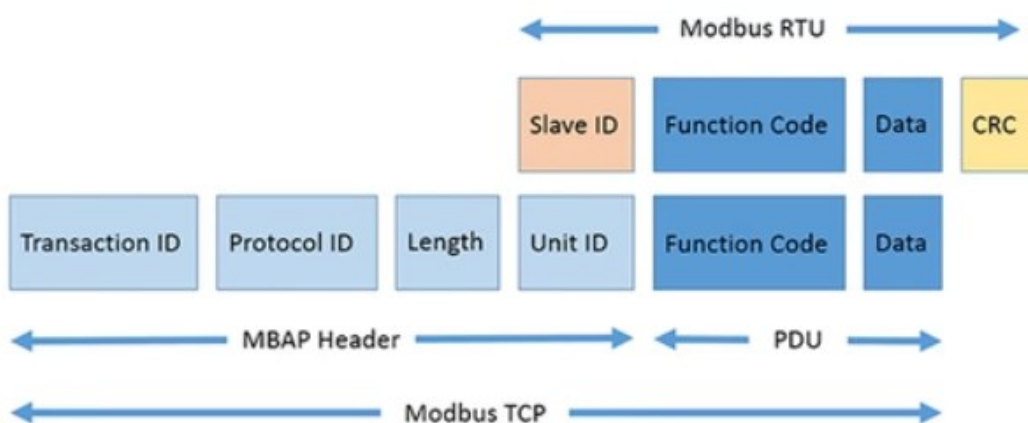
Ze zprávy protokolu Modbus RTU dochází k odstranění adresy SlaveID na začátku zprávy a kontrolního součtu CRC na konci zprávy, čímž vzniká PDU. Na začátek přijaté zprávy PDU je přidána specifická 7bajtová hlavička označována jako MBPA. [55][56]

Tabulka 6: Struktura zprávy protokolu Modbus TCP/IP

Transaction ID	Protocol ID	Délka	Unit ID	PDU
----------------	-------------	-------	---------	-----

[56]

- Identifikátor transakce (Transaction ID) – Zařízení master nastaví 2 bajty a slouží k přiřazení odpovědi ke konkrétnímu požadavku.
- Identifikátor protokolu (Protocol ID) – Zařízení master nastaví 2 bajty, vždy budou nastaveny na hodnotu 00 00, což označuje protokol Modbus.
- Délka – Zařízení master nastaví 2 bajty, určuje délku následujících dat v bajtech.
- Identifikátor jednotky nebo adresa zařízení (Unit ID) - Zařízení master nastaví 1 bajt. Obsahuje adresu zařízení slave, ke kterému je zpráva určena. [55][56]

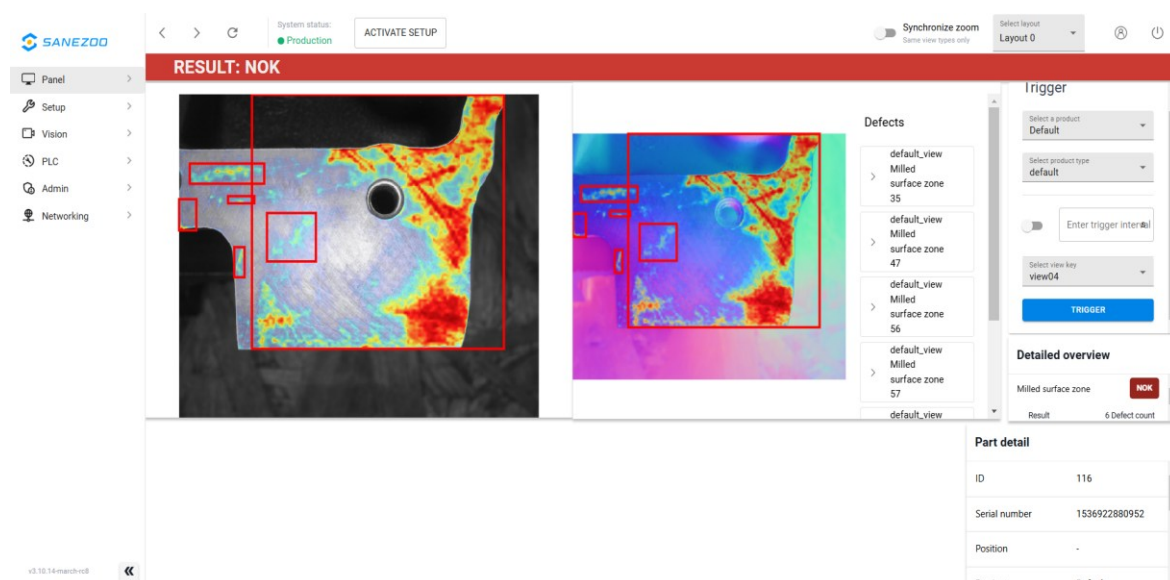


Obrázek 22: Struktura zprávy protokolu Modbus RTU a TPC/IP [54]

PRAKTICKÁ ČÁST

4 VIZUÁLNÍ INSPEKČNÍ APLIKACE SANEZOO

Na obrázku je rozhraní vizuální inspekční aplikace vyvinuté společností SANEZOO (viz. Obrázek 23: Inspekční aplikace SANEZOO). Tato aplikace slouží k automatické detekci vad (například škrábanců) na povrchů výrobku. Aplikace využívá neuronové sítě natrénované na vzorcích vad, díky čemuž dokáže spolehlivě identifikovat defekty.



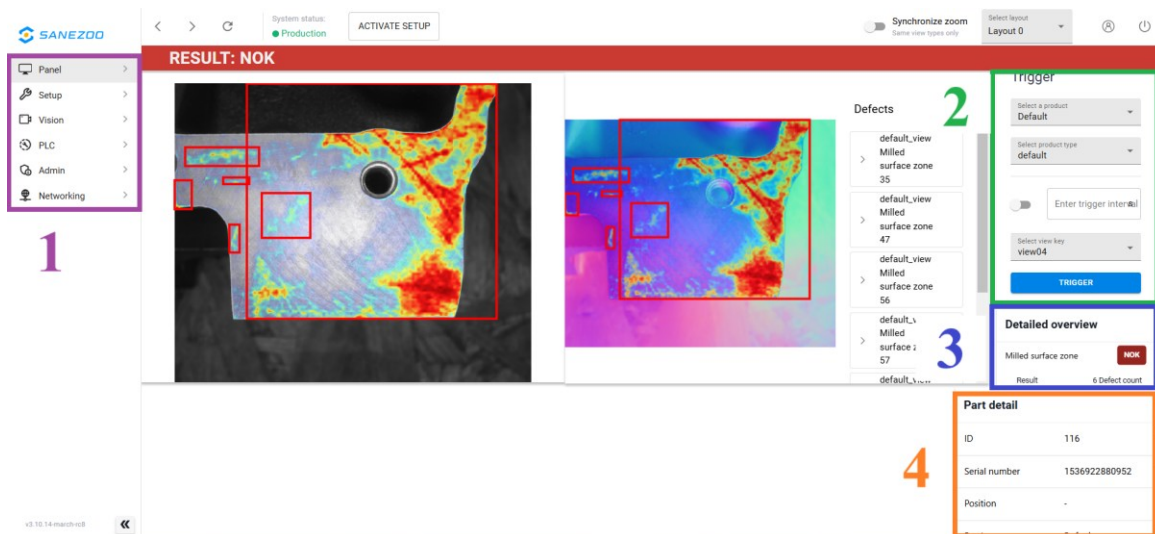
Obrázek 23: Inspekční aplikace SANEZOO

Hlavní panel zobrazuje snímky inspekční oblasti s vyznačenými vadami, přičemž každý detekovaný defekt je doplněn o další informace v sekci *Defect*. Výsledek inspekce je zobrazen v horní části obrazovky – v tomto případě *RESULT: NOK*, tedy že díl nevyhovuje. Nad výsledkem inspekce je tlačítko pro přepínání mezi režimy *production* a *fixer*.

- *production* – Režim je určen pro běžný provoz systému ve výrobním prostředí. V tomto režimu aplikace automaticky provádí inspekci na základě předem nastavených parametrů a neuronových modelů. V tomto režimu má uživatel přístup pouze do sekce Panel.
- *fixer* – Režim slouží pro ladění, analýzu a opravu inspekční logiky. Umožňuje upravovat parametry inspekce a provádět zpětnou kontrolu nad snímky. V tomto režimu má uživatel přístup do všech sekcí inspekční aplikace.

V pravé části obrazovky (viz. Obrázek 24: Uživatelské rozhraní inspekční aplikace SANEZOO s označenými částmi: (1) navigační panel, (2) ovládací panel, (3) výsledek inspekce (4) detail kontrolované oblasti) se nachází ovládací panel (2) pro výběr výrobku, výběr *view key* a tlačítko *Trigger* pro pořízení snímku a provedení inspekce. V sekci *Detailed*

overview (3) je vyhodnocen stav inspekce s počtem zón s defektem, a dole v sekci *Part detail* (4) jsou dostupné informace o konkrétní kontrolované oblasti (například ID, sériové číslo, zvolený produkt).



Obrázek 24: Uživatelské rozhraní inspekční aplikace SANEZOO s označenými částmi: (1) navigační panel, (2) ovládací panel, (3) výsledek inspekce (4) detail kontrolované oblasti

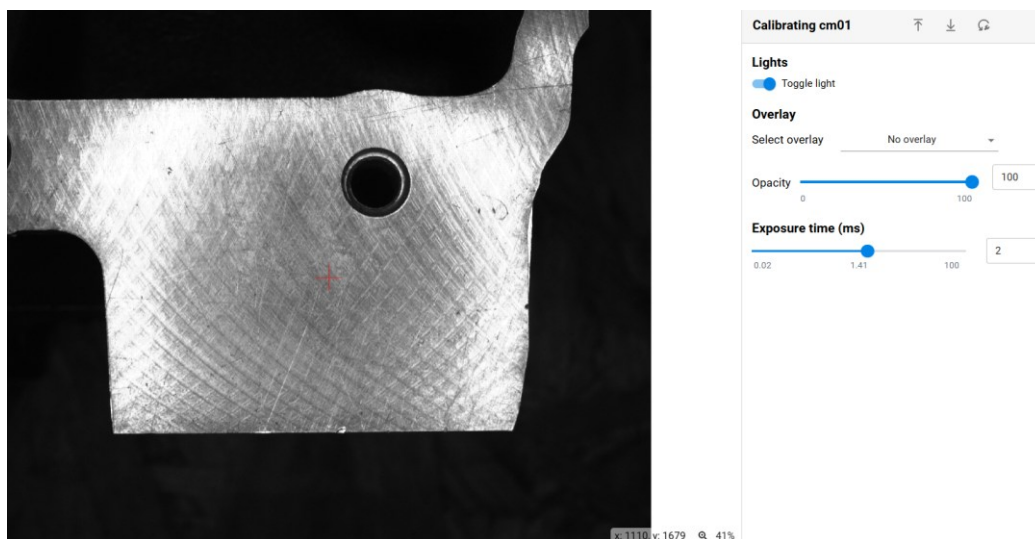
Levá část rozhraní obsahuje panel s hlavní navigací (1), která uživateli umožňuje přepínat mezi jednotlivými sekcemi aplikace, jako jsou:

- *Panel* – Zobrazení hlavního panelu s informacemi o inspekci. Vytvoření si vlastního rozložení hlavního panelu.
- *Setup* – Konfigurace *Pipelines*, definování pravidel inspekce a nastavení zón
- *Vision* – Kalibrace kamery a nastavení sekvence snímků.
- *PLC* – Konfigurace komunikace se systémem PLC
- *Admin* – Administrace uživatelů a přístupových práv
- *Networking* – Nastavení síťové komunikace

4.1 Kalibrace kamery

Kamera je vzdálena 15 cm od snímané plochy, aby byl zajištěný optimální zorný úhel a dostatečná ostrost snímané oblasti. Zaostření kamery se provádí manuálně pomocí ostřicího kroužku na objektivu kamery.

Nastavení kamery se provádí v záložce *Vision*. Pomocí živého přenosu z kamery se nastavuje parametr *Exposure time*, který zajišťuje, že je inspekční oblast dostatečně kontrastní a dobře viditelná.

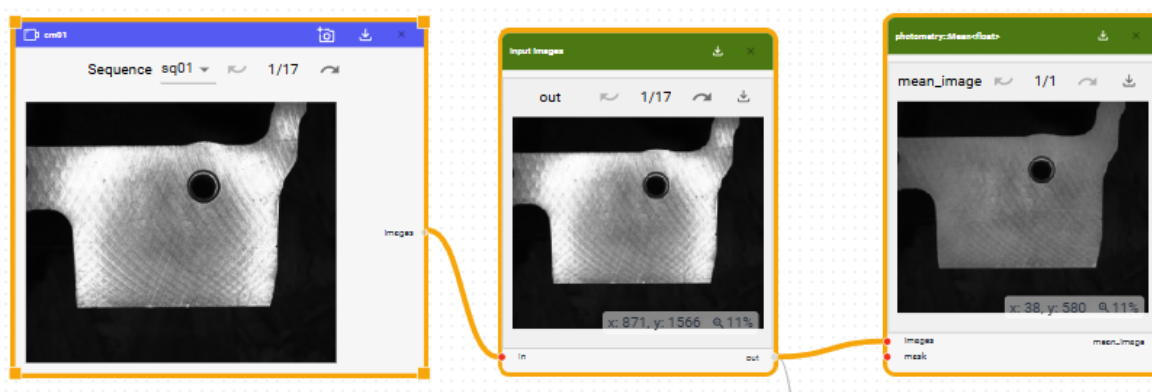


Obrázek 25: Nastavení kamery

4.2 Vytvoření snímku se střední hodnotou

Pro vytvoření tzv. *mean* snímku (viz. Obrázek 27: *Mean* snímek) se provádí sekvence pořízení sedmnácti snímků, které se následně zprůměrují. Tento proces se realizuje v části *Setup* v záložce *Pipelines*.

Nejprve se přidá modul s názvem *photometry::Mean<float>* a propojí se s modulem *Input Images*. Poté se systém musí přepnout do režimu „Run Mode“ a tyto moduly společně ještě s modulem kamery aktivovat. Po jejich aktivaci se provede sekvence snímání, během níž se pořídí sedmnáct snímků, které jsou následně zprůměrovány a výsledkem je *mean* snímek.



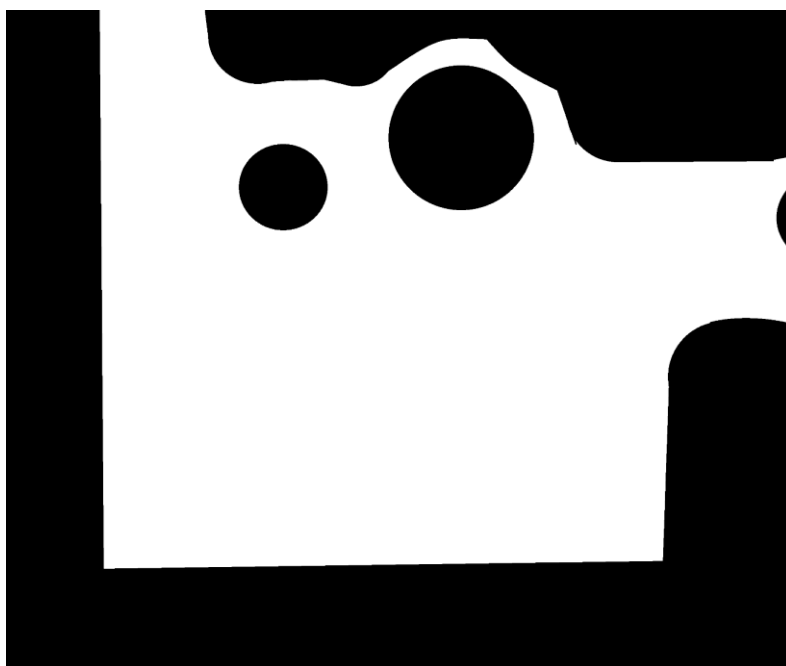
Obrázek 26: Připojení modulů pro *mean* snímek

Obrázek 27: *Mean* snímek

Tento vytvořený *mean* snímek může být použit pro vytvoření masky, která slouží k dalším analýzám v inspekčním procesu.

4.3 Maska a zóna

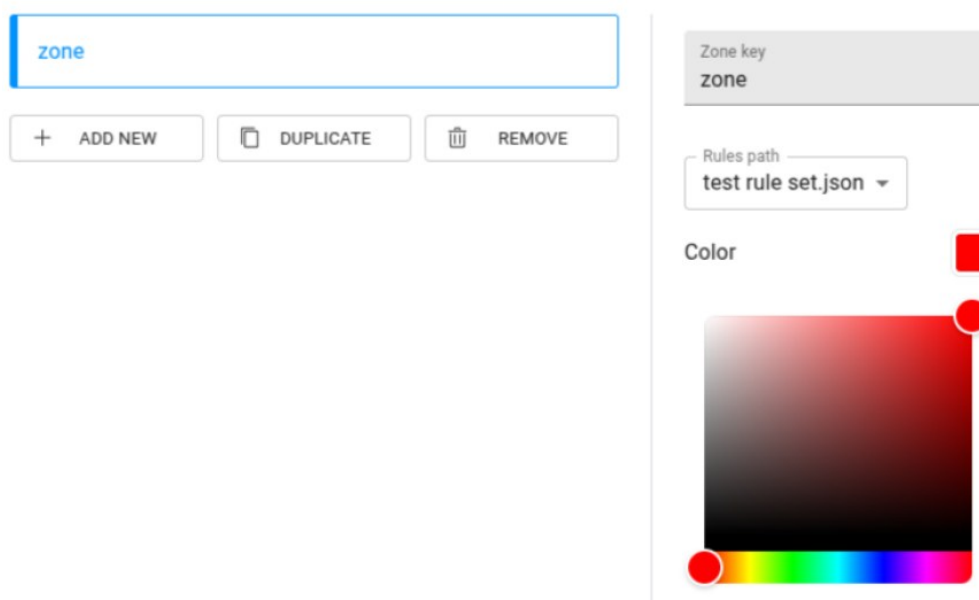
Pro vymezení oblasti určené k inspekci se vytvoří černobílá maska. Tato maska umožní zanalyzovat pouze specifickou oblast, čímž se eliminují vlivy nežádoucích prvků v okolí.



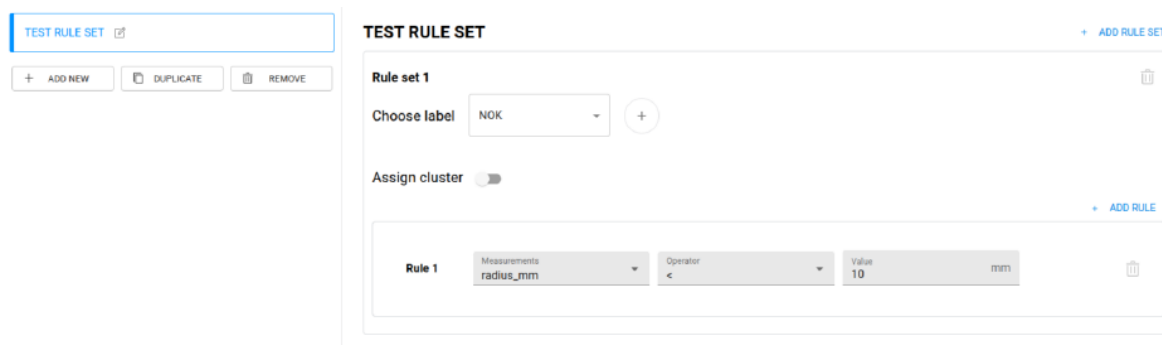
Obrázek 28: Maska

Na masku se následně aplikuje zóna, která označí jednotlivé oblasti s detekovaným poškozením v definovaném rozsahu. Zóna se nastavuje v části *Setup* v záložce *Pipelines*. Zde je potřeba otevřít modul s názvem *Zone configuration* a zónu nastavit (viz. Obrázek 29: Nastavení zóny). Definice rozsahu poškození se nastavuje v části *Setup* v záložce *Rule sets*. Zde je možné si nastavit sadu pravidel například pro NOK (viz. Obrázek 30: Nastavení pravidel rozsahu poškození).

Zone dialog



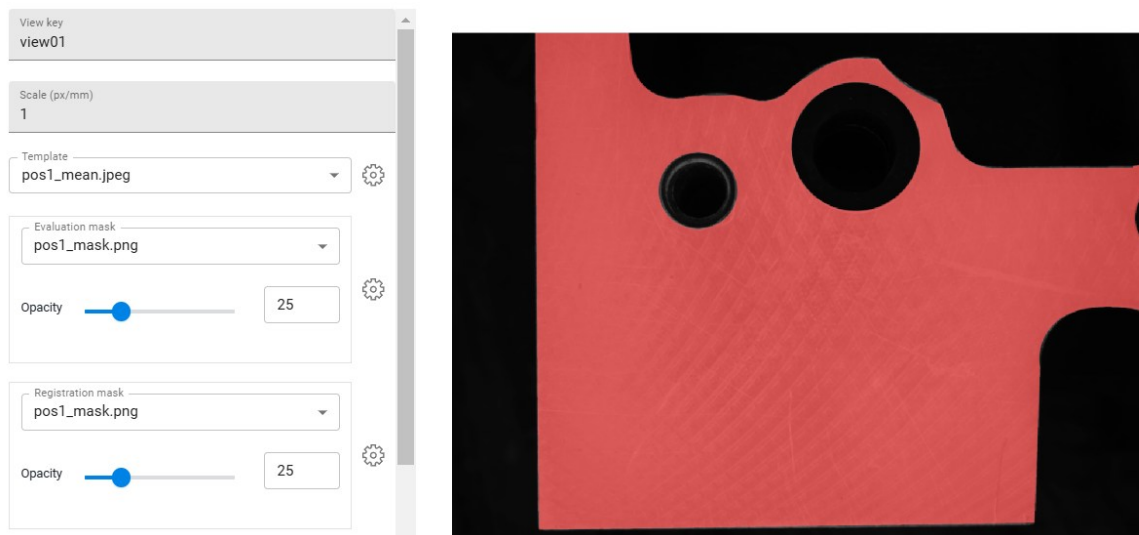
Obrázek 29: Nastavení zóny



Obrázek 30: Nastavení pravidel rozsahu poškození

4.4 Nastavení view key

Po vytvoření masek a zón je potřeba definovat jaké masky a zóny se budou používat v jednotlivých inspekčních oblastech. K tomuto slouží tzv. *view key*, který se nastavuje v části *Setup* v záložce *Pipelines*. Zde je potřeba otevřít modul *evaluation:Views*. V modulu je potřeba nastavit *mean* snímek a masku konkrétní oblasti a zónu.



Obrázek 31: Nastavení *view key* s aplikovanou zónou

5 PROTOKOL UNITY

Vytvoření a zprovoznění komunikace mezi kolaborativním robotem ABB GoFa a vizuálním inspekčním systémem společnosti SANEZOO pomocí protokolu Modbus TCP/IP bylo klíčové pro správnou funkci celé práce. Modbus TCP/IP byl zvolen pro svou jednoduchost, jeho snadnou integraci a širokou podporu v průmyslových aplikacích. Systém UNITY a vizuální aplikace tento komunikační protokol využívají, což umožňuje jejich vzájemnou komunikaci s robotem.

Jelikož řídicí systém robota ABB GoFa standardně neobsahuje podporu pro Modbus TCP/IP, bylo nutné tento protokol v prostředí robota ručně implementovat. To zahrnovalo vytvoření vlastních zpráv v programovacím jazyce RAPID podle specifikace Modbus TCP/IP, včetně správného sestavení požadavků na čtení a zápis dat.

V tomto řešení robot plní roli master, který aktivně odesílá požadavky na čtení a zápis dat do inspekční aplikace. Vizuální inspekční aplikace plní roli slave, který na tyto požadavky reaguje a poskytuje potřebné informace o výsledcích inspekce.

5.1 Vytvoření zprávy Modbus

Zpráva byla vytvořena podle pravidel protokolu Modbus TCP/IP v jazyce RAPID. Pro správnou funkci bylo potřeba vytvořit strukturu zprávy pro jednotlivé funkce protokolu.

5.1.1 Vytvoření zprávy pro zápis Holding registrů

! Vytvoření zprávy pro zápis Holding registrů

```
PROC UnityCreateMsgStringWriteHR(num function_code,num address,string
value,num str_len)
    ! Vymazání předchozí zprávy
    ClearRawBytes Raw_Msg;
    ! ID transakce
    PackRawBytes Trans_ID,Raw_Msg\Network,1\IntX:=UINT;
    ! ID protokolu
    PackRawBytes
    0,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Délka celé zprávy
    PackRawBytes
    7+str_len,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Adresa zařízení
    PackRawBytes
    Device_Addr,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    !Kód funkce( 16 = zápis Holding registrů)
```

```

    PackRawBytes
function_code,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Adresa registru

    PackRawBytes
address,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    !Počet registů

    PackRawBytes
Round(StrLen(value)/2),Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX
:=UINT;
    ! Počet bytů v datech

    PackRawBytes
StrLen(value),Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Zápis samotného textu

    PackRawBytes
value,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\ISOLatin1Encoding;
    ! Doplnění nulami, pokud řetězec nedosáhl požadované délky

    IF StrLen(value)<str_len PackRawBytes
0,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Inkrementace ID transakce pro další zprávu

    UpdateTransID;

ENDPROC

```

5.1.2 Vytvoření zprávy pro čtení Input registrů

```

! Vytvoření zprávy pro čtení Input registrů

PROC UnityCreateMsgStringReadIR(num function_code,num
address,string value,num str_len)
    ! Vymazání předchozí zprávy
    ClearRawBytes Raw_Msg;
    ! ID transakce
    PackRawBytes Trans_ID,Raw_Msg\Network,1\IntX:=UINT;
    ! ID protokolu
    PackRawBytes
0,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Délka celé zprávy
    PackRawBytes
6,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Adresa zařízení
    PackRawBytes
Device_Addr,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Kód funkce (4 = čtení Input registrů)
    PackRawBytes
function_code,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Startovní adresa registru
    PackRawBytes
address,Raw_Msg\Network, (RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;

```

```

        ! Počet registrů ke čtení
        PackRawBytes
5,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
        ! Inkrementace ID transakce pro další zprávu
        UpdateTransID;
ENDPROC

```

5.1.3 Vytvoření zprávy pro zápis Single Coil

```

! Vytvoření zprávy pro zápis Coil
PROC UnityCreateMsgStringWriteCO(num function_code,num
address,bool value)
    VAR num data:=0;
    IF value data:=0xFF00;
    ! Vymazání předchozí zprávy
    ClearRawBytes Raw_Msg;
    ! ID transakce
    PackRawBytes Trans_ID,Raw_Msg\Network,1\IntX:=UINT;
    ! ID protokolu
    PackRawBytes
0,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Délka celé zprávy
    PackRawBytes
Header_Length+2,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Adresa zařízení
    PackRawBytes
Device_Addr,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Kód funkce( 5 = zápis Coil)
    PackRawBytes
function_code,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=USINT;
    ! Adresa výstupního coil
    PackRawBytes
address,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Hodnota
    PackRawBytes
data,Raw_Msg\Network,(RawBytesLen(Raw_Msg)+1)\IntX:=UINT;
    ! Inkrementace ID
    UpdateTransID;
ENDPROC

```

5.2 Funkce Unity

Jednotlivé funkce jsou implementovány jako procedury a pokrývají veškeré požadované operace – od připojení k serveru až po zpracování výsledků inspekce.

5.2.1 UnityConnectToServer

Procedura *UnityConnectToServer* zajišťuje navázání komunikačního spojení s vizuální inspekční aplikací a zároveň ověření režimu, ve kterém se systému aktuálně nachází.

```

! Připojení k serveru
    PROC UnityConnectToServer()
        VAR num attempts:=0;
        SocketClose Modbus_Socket;
        SocketCreate Modbus_Socket;
        SocketConnect Modbus_Socket,Unity_IP,Remote_Port;
        connect_led:=TRUE;
        disconnect_led:=FALSE;
        ErrWrite\I,"CONNECTED","Connected to Sanezoo Unity";
! Zjištění aktuálního režimu systému
        WHILE (response<>"fixer\00\00\00\00\00" OR
response<>"production") AND attempts<5 DO
            UnityCreateMsgStringReadIR 4,mode_set_adress,"",0;
            UnitySendMsg;
            WaitTime 0.5;
            UnityRecvMsg;
            WaitTime 0.5;
            attempts:=attempts+1;
        ENDWHILE
! Vyhodnocení odpovědi a nastavení režimu
        IF response<>"fixer\00\00\00\00\00" OR
response<>"production" THEN
            ErrWrite\W,"ERROR","Failed to change mode";
            RETURN ;
        ELSEIF response="fixer\00\00\00\00\00" THEN
            current_mode:="fixer";
            production_led:=FALSE;
            fixer_led:=TRUE;
        ELSEIF response="production" THEN
            current_mode:="production";
            production_led:=TRUE;
            fixer_led:=FALSE;
        ENDIF
    ENDPROC

```

5.2.2 UnityDisconnect

Procedura *UnityDisconnect* zajišťuje ukončení komunikace mezi robotem a vizuální inspekční aplikací. Nejprve uzavře socketové spojení a následně aktualizuje stavové proměnné a kontrolky.

```
PROC UnityDisconnect()  
    SocketClose Modbus_socket;  
    connect_led:=FALSE;  
    disconnect_led:=TRUE;  
    ok_led:=FALSE;  
    nok_led:=FALSE;  
    production_led:=FALSE;  
    fixer_led:=FALSE;  
    current_mode:="";  
    ErrWrite\I,"DISCONNECTED","Disconnected to Sanezoo Unity";  
ENDPROC
```

5.2.3 UnitySendMsg

Procedura *UnitySendMsg* slouží k odeslání vytvořené zprávy do vizuální inspekční aplikace prostřednictvím síťového socketu.

```
PROC UnitySendMsg()  
    SocketSend Modbus_socket\RawData:=Raw_msg;  
ENDPROC
```

5.2.4 UnityRecvMsg

Procedura *UnityRecvMsg* slouží ke zpracování příchozí zprávy přijaté přes síťové socketové spojení mezi robotem a vizuální inspekční aplikací. Úkolem této procedury je dekodovat zprávu a uložit výsledek pro další použití.

```
PROC UnityRecvMsg()  
    VAR string response_msg:="";  
    ClearRawBytes Raw_Msg;  
    SocketReceive Modbus_socket\RawData:=Raw_Msg;  
    UnpackRawBytes  
    Raw_Msg\Network,10,response_msg\ISOLatin1Encoding:=RawBytesLen(Raw_M  
sg);  
    response:=response_msg;  
ENDPROC
```

5.2.5 UnityModeProduction

Procedura *UnityModeProduction* slouží k přepnutí vizuální inspekční aplikace do režimu *production*.

```

! Nastavení režimu na production
PROC UnityModeProduction()
    VAR num attempts:=0;
    ! Navázání spojení
    SocketClose Modbus_Socket;
    SocketCreate Modbus_Socket;
    SocketConnect Modbus_Socket,Unity_IP,Remote_Port;
    ! Zápis režimu
    UnityCreateMsgStringWriteHR 16,mode_adress,"production",10;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    ! Žádost o nastavení režimu
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,change_mode_adress,TRUE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,change_mode_adress,FALSE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    ErrWrite\I,"Request to change mode send","";
    ! Kontrola změny režimu
    WHILE response<>"production" AND attempts<5 DO
        UnityCreateMsgStringReadIR 4,mode_set_adress,"",0;
        UnitySendMsg;
        WaitTime 0.5;
        UnityRecvMsg;
        WaitTime 0.5;
        attempts:=attempts+1;
    ENDWHILE
    ! Vyhodnocení odpovědi a nastavení režimu
    IF response<>"production" THEN
        ErrWrite\W,"ERROR","Failed to change mode to production";
        RETURN ;
    ELSEIF response="production" THEN

```

```
        current_mode:="production";
        production_led:=TRUE;
        fixer_led:=FALSE;
    ENDIF
ENDPROC
```

5.2.6 UnityModeFixer

Procedura *UnityModeFixer* slouží k přepnutí vizuální inspekční aplikace do režimu *fixer*.

```
! Nastavení režimu na fixer
PROC UnityModeFixer()
    VAR num attempts:=0;
    ! Navázání spojení
    SocketClose Modbus_Socket;
    SocketCreate Modbus_Socket;
    SocketConnect Modbus_Socket,Unity_IP,Remote_Port;
    ! Zápis režimu
    UnityCreateMsgStringWriteHR
16,mode_adress,"fixer\00\00\00\00\00",10;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    ! Žádost o nastavení režimu
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,change_mode_adress,TRUE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,change_mode_adress,FALSE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    ErrWrite\I,"Request to change mode send","";
    ! Kontrola změny režimu
    WHILE response<>"fixer\00\00\00\00\00" AND attempts<5 DO
        UnityCreateMsgStringReadIR 4,mode_set_adress,"",0;
        UnitySendMsg;
        WaitTime 0.5;
        UnityRecvMsg;
        WaitTime 0.5;
        attempts:=attempts+1;
    ENDWHILE
```

```

IF response<>"fixer\00\00\00\00\00" THEN
    ErrWrite\W,"ERROR","Failed to change mode to fixer";
    RETURN ;
ELSEIF response="fixer\00\00\00\00\00" THEN
    current_mode:="fixer";
    production_led:=FALSE;
    fixer_led:=TRUE;
ENDIF
ENDPROC

```

5.2.7 UnityViewKey

Procedura *UnityViewKey* slouží k odeslání *view key* do vizuální inspekční aplikace.

```

PROC UnityViewKey(string view_key)
    UnityCreateMsgStringWriteHR
    16,view_key_adress,view_key,StrLen(view_key);
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    current_view_key:=view_key;
ENDPROC

```

5.2.8 UnitySetSerialNumber

Procedura *UnitySetSerialNumber* slouží k vygenerování náhodného sériového čísla a jeho odeslání do vizuální inspekční aplikace.

```

! Nastavení sériového čísla
PROC UnitySetSerialNumber()
    VAR num number_of_characters;
    ! Generování náhodného čísla
    serial_number:=NumToStr(10000+Round(Rand()*899),0);
    ! Počet jednotlivých znaků sériového čísla
    number_of_characters:=0;
    number_of_characters:=StrLen(serial_number);
    UnityCreateMsgStringWriteHR
    16,serial_number_adress,serial_number,number_of_characters;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
ENDPROC

```

5.2.9 UnityTrigger

Procedura *UnityTrigger* slouží ke spuštění funkce *Trigger* ve vizuální aplikaci, která následně pořídí snímek prostřednictvím kamery.

```

! Spuštění triggeru
PROC UnityTrigger()
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,trigger_adress,FALSE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,trigger_adress,TRUE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
    UnityCreateMsgStringWriteCO 5,trigger_adress,FALSE;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
ENDPROC

```

5.2.10 UnityReadResult

Procedura *UnityReadResult* slouží ke čtení výsledku vizuální inspekce z aplikace.

```

! Čtení výsledků
PROC UnityReadResult()
    UnityCreateMsgStringReadIR 4,read_result_adress,"",64;
    UnitySendMsg;
    WaitTime 0.5;
    UnityRecvMsg;
! Kontrola čtení výsledku
    IF (response<>"OK\00\00\00\00\00\00\00\00" OR
response<>"NOK\00\00\00\00\00\00\00\00") THEN
        ErrWrite\W,"ERROR","Failed to read result";
        RETURN ;
    ELSEIF response="OK\00\00\00\00\00\00\00\00" THEN
        ok_led:=TRUE;
        nok_led:=FALSE;
    ELSEIF response="NOK\00\00\00\00\00\00\00\00" THEN
        ok_led:=FALSE;
        nok_led:=TRUE;
    ENDIF

```

```
ENDPROC
```

5.2.11 UnityMain

Procedura *UnityMain* slouží jako hlavní sekvence, která zajišťuje postupné provedení klíčových operací potřebných pro provedení inspekce.

```
PROC UnityMain()  
    IF current_mode="production" AND connect_led=TRUE THEN  
        SocketClose Modbus_Socket;  
        SocketCreate Modbus_Socket;  
        SocketConnect Modbus_Socket,Unity_IP,Remote_Port;  
        UnitySetSerialNumber;  
        WaitTime 0.5;  
        UnityTrigger;  
        WaitTime 0.5;  
        UnityReadResult;  
    ENDIF  
ENDPROC
```

5.2.12 UnityTest

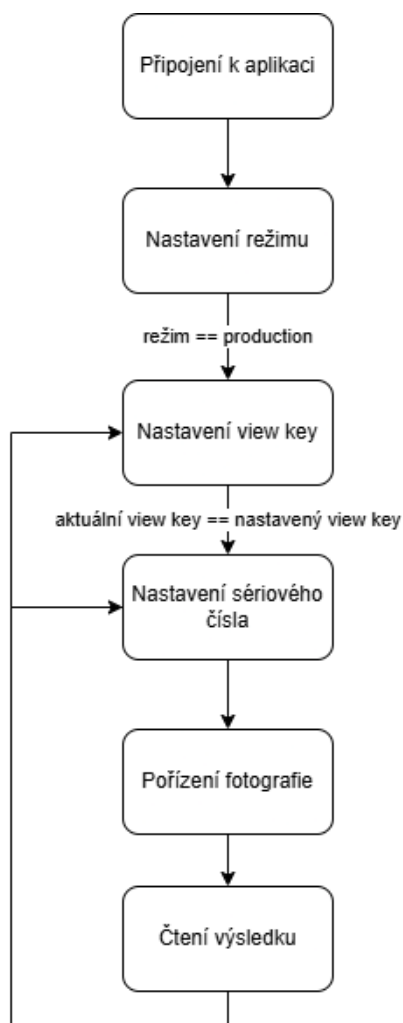
Procedura *UnityTest* slouží k provedení inspekce frézované plochy. Inspekce probíhá ve čtyřech definovaných oblastech, ke kterým se robot postupně přesune a provede kontrolu dané oblasti.

```
PROC UnityTest()  
    ! Navázání spojení  
    SocketClose Modbus_Socket;  
    SocketCreate Modbus_Socket;  
    SocketConnect Modbus_Socket,Unity_IP,Remote_Port;  
    ! Proces inspekce bloku motoru  
    IF current_mode="production" AND connect_led=TRUE THEN  
        MoveL sp1,v50,fine,t_camera\WObj:=wobj0;  
        UnityViewKey("view01");  
        UnityMain;  
        MoveL sp2,v50,fine,t_camera\WObj:=wobj0;  
        UnityViewKey("view02");  
        UnityMain;  
        MoveL sp3,v50,fine,t_camera\WObj:=wobj0;  
        UnityViewKey("view03");  
        UnityMain;  
        MoveL sp4,v50,fine,t_camera\WObj:=wobj0;
```

```
UnityViewKey("view04");  
UnityMain;  
ELSEIF current_mode<>"production" OR connect_led=FALSE THEN  
    ErrWrite\W,"ERROR","Current mode is not production or  
robot is disconnect";  
ENDIF  
ENDPROC
```

5.3 Logika programu

V této podkapitole je popsána hlavní logika programu pro pořízení snímku inspekční oblasti. V prvním kroku po zmáčknutí tlačítka v HMI *Připojit* dojde k navázání spojení mezi robotem a inspekční aplikací. Po navázání spojení je potřeba nastavit režim na *production* pomocí tlačítka *production* v HMI. Při stisknutí tlačítka *Trigger* se následně nastavit *view key*, přiřadí sériové číslo, které je náhodně vygenerováno, po nastavení sériového čísla dojde k pořízení snímku a procesu vizuální inspekce, robot následně čte výsledek z aplikace.



Obrázek 32: Vývojový diagram pro pořízení fotografie

6 NÁVRH HMI APLIKACE

Návrh uživatelského rozhraní neboli HMI byl vytvořen v softwaru AppStudio od společnosti ABB. HMI slouží k snadné obsluze UNITY pomocí aplikace ve FlexPendantu (ovládací panel robota). HMI aplikace je dostupná v anglickém (viz. Obrázek 33: Ukázka HMI aplikace v anglickém jazyce) a českém (viz. Obrázek 34: Ukázka HMI aplikace v českém jazyce) jazyce. Jazyk se automaticky přepíná podle jazyka nastaveného ve FlexPendantu.

Na FlexPendantu najde uživatel tlačítka pro navázání nebo ukončení spojení mezi robotem a inspekční aplikací. Dále se může uživatel přepínat mezi dvěma režimy pomocí tlačítek *production* a *fixer*. Tlačítko *Trigger* slouží pro pořízení snímku. *Test* tlačítko bylo využíváno k ověření správné funkčnosti programu a komunikace mezi robotem a inspekční aplikací. Tlačítko *Stop* slouží pro zastavení programu a tlačítko *Align* pro automatické zarovnání robota vůči Work Objectu robota. Tlačítko *WebApp* slouží pro spuštění inspekční aplikace přímo ve FlexPendantu (viz. Obrázek 35: Ukázka spuštění inspekční aplikace přímo ve FlexPendantu). Pomocí této funkce lze přesměrovat server kamery přímo na ovládací panel robota. Díky tomu může uživatel ovládat inspekční proces, nastavovat inspekční parametry a sledovat výsledky – vše z jednoho místa.

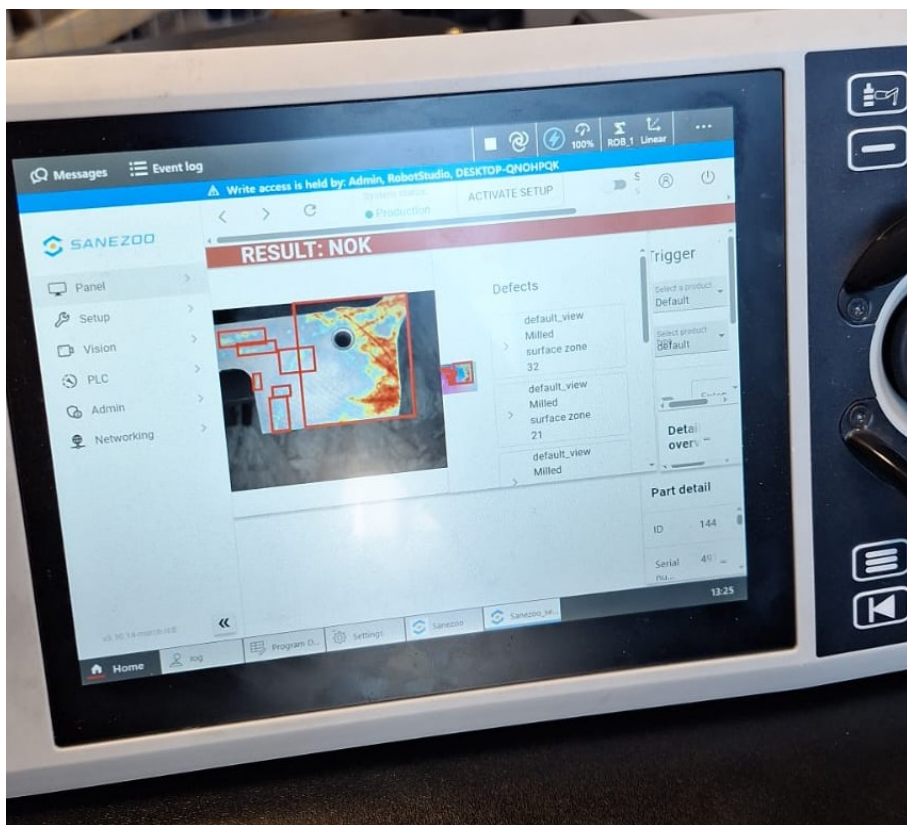
Uživatel zde má informační a signalizační funkce, a to LED diody, které poskytují uživateli informace o stavu připojení a aktivním režimu. Mezi další informační prvky zde patří ukazatel sériového čísla právě pořízeného snímku a výsledek inspekce, který je zobrazen pomocí barevné signalizace.



Obrázek 33: Ukázka HMI aplikace v anglickém jazyce



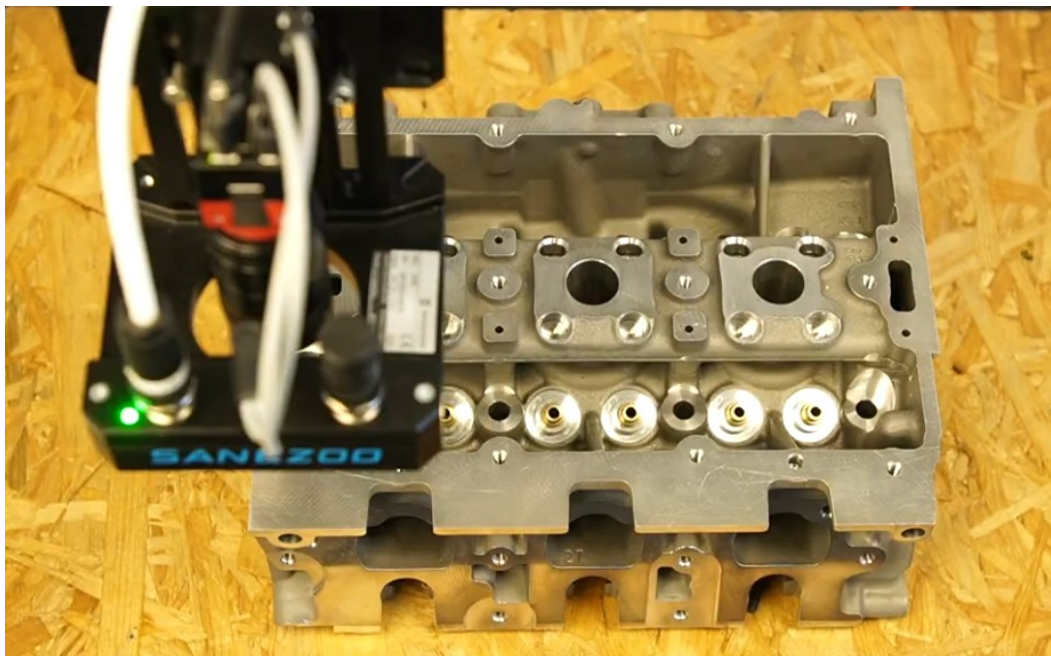
Obrázek 34: Ukázka HMI aplikace v českém jazyce



Obrázek 35: Ukázka spuštění inspekční aplikace přímo ve FlexPendantu

7 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI SYSTÉMU

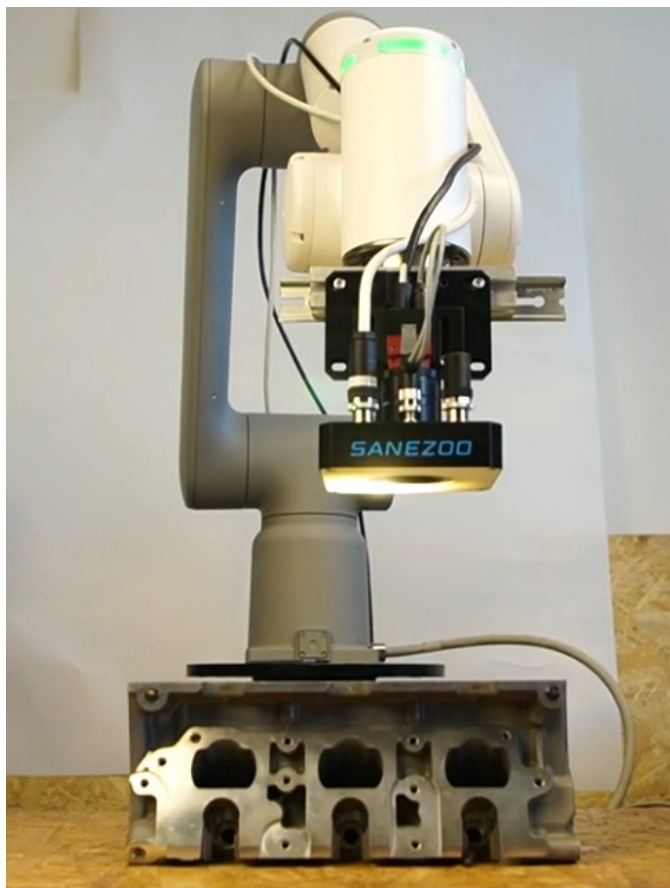
Ověření správné funkčnosti systému, zejména komunikace mezi kolaborativním robotem GoFa a vizuální aplikací SANEZOO bylo provedeno na inspekci frézované plochy bloku motoru, kde se hodnotil výskyt povrchových vad, především škrábanců.



Obrázek 36: Blok motoru

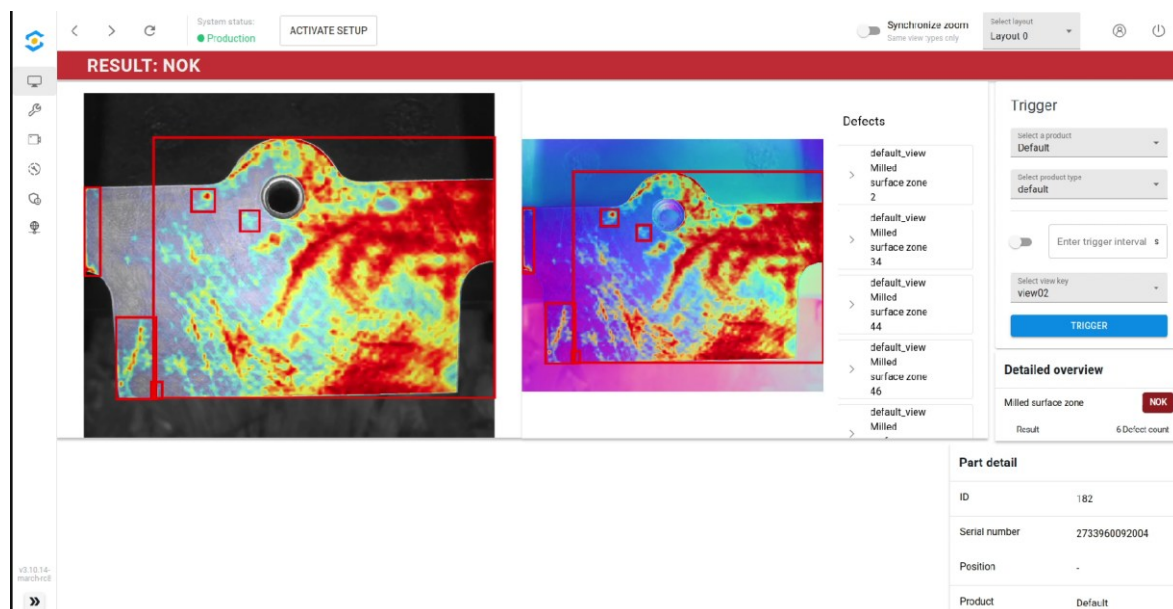
Testování proběhlo na čtyřech předem definovaných oblastech frézované plochy, přičemž robot byl naváděn do přesných pozic. Pro pořízení snímku byl použit systém UNITY s průmyslovou kamerou a 5 Mpix objektivem. Pro každou z definovaných oblastí bylo potřeba vytvořit *mean* snímek, masku, zónu a nastavit *view key*.

Po stisknutí tlačítka *Test* v HMI aplikaci se spustil program, v jehož rámci robot najíždí do předem definovaných pozic. V každé z těchto pozic je následně pořízen snímek kontrolované oblasti, který je poté odeslán k analýze do vizuální aplikace.

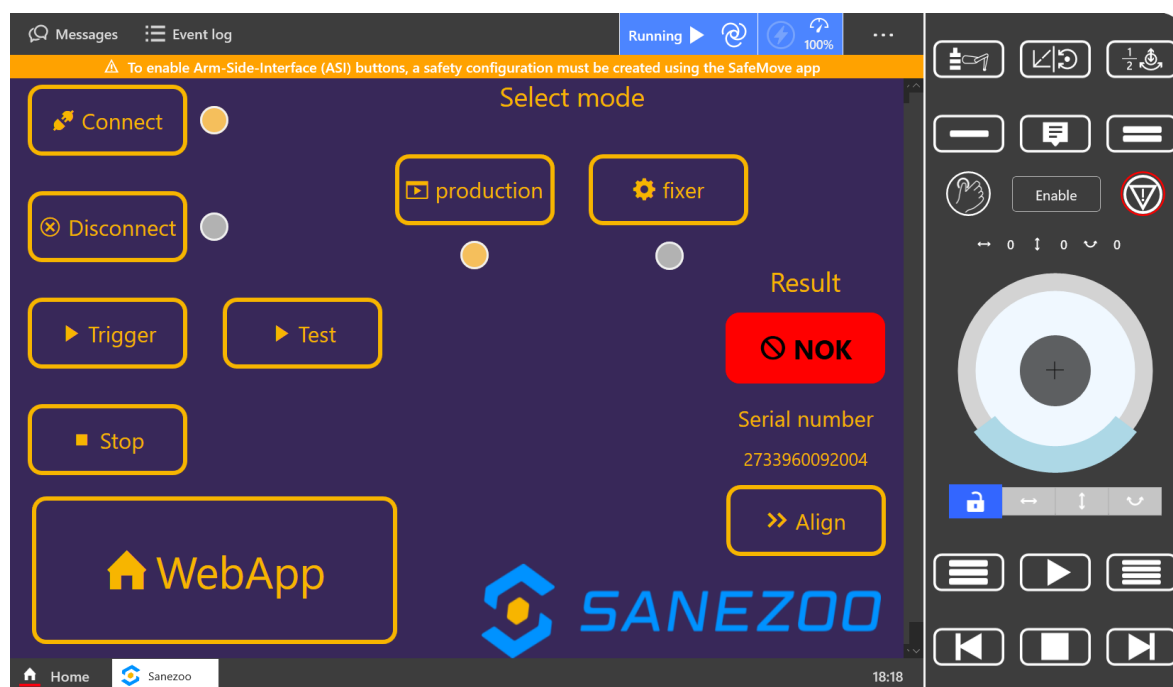


Obrázek 37: Vizuální inspekce bloku motoru

Všechny inspekční cykly proběhly úspěšně. Robot vždy dorazil do cílové pozice a kamera pořídila snímek požadované oblasti. Vizuální aplikace spolehlivě identifikovala přítomnost škrábanců, které se zobrazí ve vizuální aplikaci (viz. Obrázek 38: Výsledek vizuální inspekce v aplikaci SANEZOO). Výsledek inspekce se zároveň zobrazil také v HMI aplikaci na FlexPendantu (viz. Obrázek 39: Výsledek vizuální inspekce v HMI aplikaci). Tím se potvrdilo, že systém z hlediska komunikace, navádění robota a vizuální inspekce funguje správně.



Obrázek 38: Výsledek vizuální inspekce v aplikaci SANEZOO



Obrázek 39: Výsledek vizuální inspekce v HMI aplikaci

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit komunikační propojení mezi vizuální inspekční aplikací a kolaborativním robotem pomocí protokolu Modbus TCP/IP a navrhnout uživatelské rozhraní pro ovládání inspekčního procesu na panelu robota. V teoretické části byly popsány klíčové oblasti, jako jsou kolaborativní roboti, strojové vidění, vizuální inspekce a komunikační protokol Modbus včetně jeho variant a principů fungování.

V praktické části byla představena inspekční aplikace společnosti SANEZOO, kde bylo provedeno kalibrace kamery, vytvoření inspekčních zón a konfigurace potřebných modulů. Dále je popsáno vytvoření zpráv podle pravidel protokolu Modbus TCP/IP pro jednotlivé kódy funkcí, které zajišťují čtení a zápis dat mezi robotem a inspekční aplikací. V neposlední řadě byl popsán význam a funkce jednotlivých částí programu, které umožňují správné fungování celého systému. Tyto zprávy a jednotlivé funkce programu byly vytvořeny v jazyce RAPID.

Celý systém byl ověřen při detekci povrchových vad na frézované ploše bloku motoru. Všechny komponenty systému – kamera, vizuální aplikace a robot spolu komunikovaly bezchybně a výsledky inspekce byly zobrazovány v inspekční aplikaci a v HMI aplikaci. Výsledky potvrzují, že navržený systém je funkční a připravený pro praktické nasazení v oblasti automatizované kontroly kvality.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5
- [2] PHUYAL, Sudip; BISTA, Diwakar a BISTA, Rabindra. Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. Online. Sustainable Futures. 2020, roč. 2. ISSN 26661888. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2020.100023>
- [3] KUMAR, Atal Anil, Uzair Khaleeq uz ZAMAN a Peter PLAPPER. Collaborative Robots. *Handbook of Manufacturing Systems and Design* [online]. Boca Raton: CRC Press, 2023, 2023-7-31, 90-106 [cit. 2025-05-01]. ISBN 9781003327523. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/372790643_Collaborative_Robots
- [4] ABB. *About ABB* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://global.abb/group/en/about>
- [5] UNIVERSAL ROBOTS. [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/>
- [6] ROBOTS DONE RIGHT. *History of ABB Robots* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/history-of-abb-robots.html>
- [7] *Cobots: Robots for collaboration with people* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://peshkin.mech.northwestern.edu/cobot/>
- [8] UNIVERSAL ROBOTS. *Naše historie* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/na%C5%A1e-historie/>
- [9] ROBOTS DONE RIGHT. *History of FANUC Robots* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/history-of-fanuc-robots.html>
- [10] ROBOTS DONE RIGHT. *KUKA Robotics History* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/kuka-robotic-history.html>
- [11] ROBOTIC JOURNAL. *Trh s roboty roste. Kdo jsou hlavní výrobci?* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.roboticjournal.cz/clanky/2019-cislo-3-trh-s-roboty-roste-kdo-jsou-hlavni-vyrobcu>

- [12] ABB. *ABB Robotics* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics>
- [13] UNIVERSAL ROBOTS. *O Universal Robots* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/>
- [14] KUKA. *O společnosti KUKA* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/firma/o-spole%c4%8dnosti-kuka>
- [15] FANUC. *Kdo jsme* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsume>
- [16] WEVOLVER. *Cobots vs Robots: Understanding the Key Differences and Applications* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/cobot-vs-robot>
- [17] KASSOW ROBOTS. *Cobot VS Industrial Robot: How To Choose* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://www.kassowrobots.com/blog/cobot-vs-industrial-robot>
- [18] ABB. *GoFa™ CRB 15000* [online]. [cit. 2025-02-03]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/roboty/kolaborativni-roboty/crb-15000>
- [19] HAVLE, Otto. *Strojové vidění I: Principy a charakteristiky*. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. [online]. 2008 [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36550.pdf
- [20] LONČAREVIĆ, Zvezdan; GAMS, Andrej; REBERŠEK, Simon; NEMEC, Bojan; ŠKRABAR, Jure et al. *Specifying and optimizing robotic motion for visual quality inspection*. Online. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2021, roč. 72. ISSN 07365845. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102200>
- [21] GEEKSFORGEES. *What is Machine Vision ?* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-machine-vision/>
- [22] EPICSYSINC. *Quick History of Machine Vision* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://epicsysinc.com/blog/machine-vision-history-3/>

- [23] ROBOTICS BIZ. *The history of Machine Vision – Timeline* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://roboticsbiz.com/the-history-of-machine-vision-timeline/>
- [24] MRDVS. *The Development History of Machine Vision* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://mrdvs.com/the-development-history-of-machine-vision/>
- [25] POMEAS. *What are the types of industrial cameras?* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.pomeas.com/blog/2022/4/30/what-are-types-industrial-cameras/>
- [26] FTDICHI. *Industrial Camera* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://ftdichip.com/product-category/applications/industrial-control/industrial-camera/>
- [27] COGNEX. *Cognex — The Leader in Machine Vision* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/company>
- [28] KEYENCE. *O nás* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/about-us/>
- [29] SICK. *O společnosti SICK* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/ospolecnosti-sick/w/about-sick>
- [30] OMRON. *About OMRON* [online]. [cit. 2025-04-23]. Dostupné z: <https://www.omron.com/global/en/about/#>
- [31] BASLER. *Company* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/company/>
- [32] TELEDYNE DALSA. *Company Profile* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.teledynedalsa.com/en/company/company-profile/>
- [33] HAVLE, Otto, 2008. *Strojové vidění IV: Osvětlovače*. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. [online]. 2008 [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36988.pdf
- [34] YUAN, Weimin, Yinuo WANG, Cai MENG a Xiangzhi BAI. *Computer Vision and Image Understanding* [online]. 2025, **252** [cit. 2025-05-01]. ISSN 10773142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2025.104278>

- [35] EDMUNDOPTICS. *Machine Vision Filter Technology* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.edmundoptics.com/Knowledge-Center/application-notes/imaging/machine-vision-filter-technology/>
- [36] BALLUFF. *How to select the best lighting techniques for your machine vision application* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/en-us/blog/best-lighting-techniques-for-machine-vision-applications>
- [37] COGNEX. *The central role of lighting in machine vision* [online]. [cit. 2025-02-04]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/the-importance-of-lighting>
- [38] TECHNEXION. *What is an Industrial Inspection Camera? Where is It Used?* [online]. [cit. 2025-02-05]. Dostupné z: <https://www.technexion.com/resources/what-is-an-industrial-inspection-camera-where-is-it-used/>
- [39] FACILIO. *Visual Inspection: Types, Techniques, and the Exact Process* [online]. [cit. 2025-02-05]. Dostupné z: <https://facilio.com/blog/visual-inspection/>
- [40] INSPECTLE. *What is a Visual Inspection?* Online. [cit. 2025-02-07]. Dostupné z: <https://www.inspectle.com/what-is-a-visual-inspection>
- [41] AVERROES. *What Is Automated Visual Inspection (AVI) And How Is It Used?* Online. [cit. 2025-02-07]. Dostupné z: <https://averroes.ai/blog/what-is-automated-visual-inspection-and-how-is-it-used>
- [42] INSPENET. *Visual Inspection in NDT: Techniques, innovations, and industry applications*. Online. [cit. 2025-02-07]. Dostupné z: <https://inspenet.com/en/articulo/visual-inspection-applications-in-ndt/>
- [43] SANEZOO. *O nás* [online]. [cit. 2025-04-23]. Dostupné z: <https://www.sanezoo.com/cs/>
- [44] ATTINC. *What Is Metrology and Why Does It Matter?* Online. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.attinc.com/news/what-is-metrology/>

- [45] VIEWMM. *What is Metrology? Importance, Types, Tools, and Applications*. Online. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://viewmm.com/en/what-is-metrology-importance-types-tools-applications/>
- [46] LNHB. *What is metrology?* Online. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <http://www.lnhb.fr/home/additional-contents/what-is-metrology/>
- [47] FICTIV. *What is metrology?* Online. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.fictiv.com/articles/what-is-metrology>
- [48] ELEYMET. *The History of Metrology*. Online. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://eylemet.com/2024/03/19/the-history-of-metrology/>
- [49] NI. *Modbus Protocol in Depth* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://www.ni.com/en/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/the-modbus-protocol-in-depth.html>
- [50] EMQX. *Demystifying Modbus Protocols: RTU, TCP, ASCII, and Plus* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://www.emqx.com/en/blog/modbus-protocol-the-grandfather-of-iiot-communication>
- [51] SCHNEIDER ELECTRIC. *What is Modbus and How does it work?* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://www.se.com/us/en/faqs/FA168406/>
- [52] DPS TELECOM. *Understanding Modbus Protocol – RTU vs TCP vs ASCII* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://www.dpstele.com/modbus/index.php>
- [53] RONEŠOVÁ, Andrea. *Přehled protokolu MODBUS* [online]. 2005 [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [54] IPC2U. *Protokol Modbus RTU v kostce s popisy a příklady* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/blogs/news/protokol-modbus-rtu-v-kostce-s-popisy-a-priklady>
- [55] HASHSTUDIOZ. *What is the Difference Between Modbus RTU and Modbus TCP/IP?* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://www.hashstudioz.com/blog/what-is-the-difference-between-modbus-rtu-and-modbus-tcp-ip/>

- [56] IPC2U. *Podrobný popis protokolu Modbus TCP s příklady příkazů* [online].
[cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/blogs/news/podrobny-popis-protokolu-modbus-tcp-s-priklady-prikazu>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Kolaborativní robot v průmyslu [4]	13
Obrázek 2: Kolaborativní robot UR5 [5]	14
Obrázek 3: Kolaborativní robot IRB 14000 YuMi [12]	15
Obrázek 4: Kolaborativní robot UR16e [5]	16
Obrázek 5: Kolaborativní robot LBR iiwa 7 R800 [14]	17
Obrázek 6: Kolaborativní robot CRX-5iA [15]	18
Obrázek 7: Kolaborativní robot CRB 15000 GoFa [18]	21
Obrázek 8: Boční pohled na GoFa 5 [18]	22
Obrázek 9: Průmyslová kamera Cognex In-Sight 7000 [27]	24
Obrázek 10: Kamerový senzor s umělou inteligencí řady IV4 [28]	25
Obrázek 11: Průmyslová kamera Inspector83x [29]	26
Obrázek 12: Průmyslová kamera MicroHAWK F440-F [30]	27
Obrázek 13: Průmyslová kamera Basler ace 2 [31]	27
Obrázek 14: Průmyslová kamera DALSA BOA [32]	28
Obrázek 15: Podsvícení [36]	29
Obrázek 16: Dark-field osvětlení [36]	30
Obrázek 17: Kopulovité osvětlení [36]	30
Obrázek 18: Koaxiální osvětlení [36]	31
Obrázek 19: Automatizovaná vizuální inspekce [38]	33
Obrázek 20: Systém UNITY [43]	34
Obrázek 21: Komunikace master-slave [49]	36
Obrázek 22: Struktura zprávy protokolu Modbus RTU a TPC/IP [54]	39
Obrázek 23: Inspekční aplikace SANEZOO	41
Obrázek 24: Uživatelské rozhraní inspekční aplikace SANEZOO s označenými částmi: (1) navigační panel, (2) ovládací panel, (3) výsledek inspekce (4) detail kontrolované oblasti	42
Obrázek 25: Nastavení kamery	43
Obrázek 26: Připojení modulů pro <i>mean</i> snímek	43
Obrázek 27: <i>Mean</i> snímek	44
Obrázek 28: Masky	44
Obrázek 29: Nastavení zóny	45
Obrázek 30: Nastavení pravidel rozsahu poškození	45
Obrázek 31: Nastavení <i>view key</i> s aplikovanou zónou	46
Obrázek 35: Vývojový diagram pro pořízení fotografie	57
Obrázek 36: Ukázka HMI aplikace v anglickém jazyce	59

Obrázek 37: Ukázka HMI aplikace v českém jazyce.....	59
Obrázek 38: Ukázka spuštění inspekční aplikace přímo ve FlexPendantu.....	60
Obrázek 39: Blok motoru.....	61
Obrázek 40: Vizuální inspekce bloku motoru.....	62
Obrázek 41: Výsledek vizuální inspekce v aplikaci SANEZOO.....	63
Obrázek 42: Výsledek vizuální inspekce v HMI aplikaci.....	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Parametry jednotlivých os pro GoFa 5	22
Tabulka 2: Vlastnosti robota GoFa 5	22
Tabulka 3: Datový model Modbus	37
Tabulka 4: Kódy funkcí protokolu Modbus TCP/IP a Modbus RTU.....	38
Tabulka 5: Struktura zprávy protokolu Modbus RTU	38
Tabulka 6: Struktura zprávy protokolu Modbus TCP/IP	39

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Kobot	Kolaborativní robot
CNC	Computer Numeric Control
TCP	Transmission Control Protocol
LED	Light-Emitting Diode
PLC	Programmable Logic Controlle
HMI	Human Machine Interface
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
IP	Internet Protocol
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
RTU	Remote Terminal Unit
CRC	Cyclic Redundancy Check
PDU	Protocol Data Unit
BIPM	Bureau of Weights and Measures
MBPA	Modbus Application Protocol Header
DO	Discrete Output
DI	Discrete Input
AO	Analog Output
AI	Analog Input