

# Možnosti provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů s využitím průmyslového robotu.

Bc. Ondřej Lokos

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

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

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Lokos**  
Osobní číslo: **A20680**  
Studijní program: **N0714A150006 Automatické řízení a informatika v průmyslu 4.0**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Možnosti provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů s využitím průmyslového robotu.**  
Téma práce anglicky: **Possibilities of performing an insulation test of instrument transformers using an industrial robot**

## Zásady pro vypracování

1. Provedte literární rešerši na zadané téma
2. Popište současný stav používané technologie a postupu při provádění izolační zkoušky.
3. Identifikujte jednotlivé fáze procesu provádění izolační zkoušky, ve kterých by bylo možno využít průmyslového robotu.
4. Zdůvodněte volbu typu robotu a jednotlivých doplňkových komponent pro robotizaci daného pracoviště.
5. Popište a porovnejte navržené řešení s existujícími řešeními, uveďte jejich výhody a nevýhody.

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

Seznam doporučené 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. Kolektiv autorů. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
3. SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1522-0.
4. LAMB, Frank. Industrial Automation: Hands On. McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 978-0-07-181647-2.
5. WILSON, Mike. Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. Amsterdam: Elsevier, BH, 2015, xv, 229 s. ISBN 9780124047334.
6. GLASER, Andrew. Industrial robotics: how to implement the right system for your plant. New York: Industrial Press, c2009, 1 [online]. Dostupné z: [http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kplRHRSY8/industrial\\_robotics\\_\\_how\\_to\\_implement\\_the\\_right\\_system\\_for\\_your\\_plant](http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kplRHRSY8/industrial_robotics__how_to_implement_the_right_system_for_your_plant)
7. KOPEČEK, Jan a Miloš DVOŘÁK. Přístrojové transformátory (měřící a jistící). Praha: Academia, 1966.
8. HRUBEŠ, Jan. Měření izolačního odporu. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Elektrotechnická literatura.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Navrátil, Ph.D.**  
Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **16. prosince 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2023**

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



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

Ve Zlíně dne 12. prosince 2022

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne 16. května 2023

Ondřej Lokos, v.r.  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je vytvořit návrh, který bude sloužit jako podklad pro automatizaci provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů v reálném provozu. Práce se zaměřuje na specifické podmínky pracoviště zkušebny přístrojových transformátorů ve firmě ABB s.r.o. v Brně. V práci je představena problematika týkající se procesu provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů, požadavky a charakteristické prvky robotizace, a v rámci dostupných zdrojů i srovnání návrhu různých řešení, která jsou v současné době možné na trhu popsat.

Klíčová slova: Přístrojový transformátor, izolační zkouška, automatizace, robotizace, ABB, návrh řešení

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to create a design that will serve as a basis for automation of insulation testing of instrument transformers in real operation. The thesis focuses on the specific conditions of the workplace of the instrument transformer testing room at ABB s.r.o. in Brno. The thesis presents the issues related to the process of conducting isolation test of instrument transformers, requirements and characteristic elements of robotization, and within the available resources, a comparison of the design of various solutions that are currently available on the market.

Keywords: Instrument transformer, insulation test, automation, robotization, ABB, solution design

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Navrátilovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TRANSFORMÁTOR</b> .....	<b>10</b>
1.1 PŘÍSTROJOVÝ TRANSFORMÁTOR.....	10
1.1.1 Přístrojový transformátor napětí (PTN) .....	11
1.1.2 Přístrojový transformátor proudu (PTP) .....	12
1.1.3 Využití přístrojových transformátorů.....	13
1.2 IZOLAČNÍ ZKOUŠKA PŘÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ .....	13
1.2.1 Technické prostředky pro provádění izolační zkoušky.....	14
1.2.2 Postup při provádění izolační zkoušky .....	14
<b>2 ROBOTIKA</b> .....	<b>16</b>
2.1 AUTOMATIZACE .....	16
2.1.1 Historie a vývoj automatizace .....	17
2.2 ROBOTY .....	19
2.2.1 Historie robotů .....	20
2.2.2 Dělení robotů.....	22
2.3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY .....	22
2.3.1 Rozdělení průmyslových robotů podle generace .....	23
2.3.2 Rozdělení průmyslových robotů podle konstrukce.....	24
2.3.3 Základní parametry .....	27
2.3.4 Efektory.....	28
2.3.4.1 Typy efektorů.....	28
2.3.4.2 Výběr efektoru .....	28
2.4 STROJOVÉ VIDĚNÍ.....	29
2.4.1 Historie a vývoj .....	30
2.4.2 Zpracování obrazu.....	31
2.4.3 Aplikace strojového vidění .....	32
2.4.4 Technické prostředky strojového vidění .....	33
2.5 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY .....	35
2.5.1 Historie PLC.....	36
2.5.2 Projektování systémů s PLC .....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>40</b>
<b>3 NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ</b> .....	<b>41</b>
3.1 POPIS STÁVAJÍCÍHO PRACOVIŠTĚ .....	41
3.1.1 Dispozice stávajícího pracoviště .....	42
3.1.2 Technické vybavení .....	42
3.1.3 Popis měřeného transformátoru .....	44
3.1.4 Současný postup provádění izolační zkoušky 3kV .....	44
3.2 NÁVRH NOVÉHO PRACOVIŠTĚ.....	46
3.2.1 Identifikace jednotlivých částí procesu z pohledu automatizace .....	46
3.2.2 Stanovení požadavků na nové pracoviště .....	47
3.2.3 Výběr/návrh efektoru .....	47
3.2.4 Výběr robotu/manipulátoru.....	50

3.2.5	Výběr snímacího zařízení.....	51
3.2.6	Výběr měřicího přístroje .....	53
3.2.7	Výběr doplňkových komponent.....	56
3.2.8	Návrh dispozice robotizovaného pracoviště .....	61
3.2.9	Popis navrženého procesu .....	63
3.2.10	Odhad nákladů na pořízení pracoviště .....	64
<b>4</b>	<b>SROVNÁNÍ S EXISTUJÍCÍMI ŘEŠENÍMI .....</b>	<b>65</b>
4.1	PRŮZKUM TRHU.....	65
4.2	SROVNÁNÍ NÁVRHU S EXISTUJÍCÍM ŘEŠENÍM .....	68
4.3	VÝHODY A NEVÝHODY NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ .....	70
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>



## ÚVOD

Od počátků lidstva, kdy byly veškeré předměty a nástroje vyráběny manuálně bez jasně definovaných postupů, až po složitější techniky, které umožnily masovou produkci a průmyslovou revoluci, se technologický pokrok neustále vyvíjel. Nyní, v éře digitálních technologií a umělé inteligence, stojíme před novými možnostmi spojenými s automatizací lidské práce.

Automatizace je významným jevem již od 20. století, který se dále rozšiřuje s rozvojem elektroniky, mikroelektroniky a moderní řídicí techniky. Robotizovaná technologická pracoviště a robotizované technologické komplexy mají za cíl zvyšovat produktivitu práce, snižovat náklady, ušetřit pracovní síly a zlepšit kulturu lidské práce.

Robotizace lidské práce je klíčovým tématem současného průmyslu, které přináší mnoho výzev i příležitostí. V průmyslově vyspělých zemích stoupající cena lidské práce, zvyšující se požadavky na kvalitu a spolehlivost výrobků, rychlost a konkurence na trhu, nutí podniky hledat způsoby, jak zefektivnit výrobu a udržet si konkurenceschopnost. Jedním z řešení je automatizace a robotizace výrobních procesů, které zahrnují částečné nebo úplné nahrazení lidské práce roboty a průmyslovými manipulátory. [1][2]

Tato diplomová práce se zaměřuje právě na jeden takový proces, kde je velký potenciál k úplné náhradě lidské práce. Jedná se o pracoviště zkušebny přístrojových transformátorů v prostředí firmy zaměřující se na výrobu prostředků k distribuci elektrické energie. Konkrétním procesem je provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů.

V úvodu této diplomové práce je nejprve představen přístrojový transformátor, princip činnosti, základní charakteristiky a postup provádění izolační zkoušky jako předmět automatizace. Dále jsou v diplomové práci zkoumány různé aspekty robotizace lidské práce, zejména její technologické faktory, vývoj a trendy robotizace v různých průmyslových odvětvích, s důrazem na význam průmyslových manipulátorů a robotů v moderní výrobě.

Praktická část této diplomové práce má pak za úkol vytvořit návrh konkrétního robotizovaného pracoviště, který bude sloužit jako podklad pro jeho budoucí realizaci. Pro tento úkol je nutné vytvořit podrobný popis stávajícího technologického procesu, identifikovat jednotlivé části vhodné pro automatizaci a zvolit vhodné technologické prostředky a vybavení pro vytvoření nového robotického pracoviště.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TRANSFORMÁTOR

Transformátor je elektrický netočivý stroj, pracující na principu elektromagnetické indukce. Slouží k přeměně elektrického napětí a proudu (střídavého) z jedné úrovně na jinou úroveň, přičemž dochází k izolaci primárního a sekundárního obvodu. Toto zařízení využívá elektromagnetickou indukci k přenosu energie. [3]

Podle normy IEC 60050-441 je transformátor definován jako *"elektrický stroj, který transformuje elektrickou energii z jedné úrovně na druhou úroveň pomocí elektromagnetického principu, s využitím jedné nebo více cívek navinutých na společném magnetickém jádru"*. [4]

### 1.1 Přístrojový transformátor

Podle IEC 60050-441 je přístrojový transformátor definován jako *"transformátor určený k přenosu elektrického signálu, jehož výstupní charakteristiky jsou v určitém rozsahu úměrné vstupním charakteristikám s nízkými ztrátami a zkreslením"*. [4]

Přístrojový transformátor je speciální typ transformátoru, který je využíván pro převod vysokého napětí nebo proudu na nižší a bezpečnější úroveň vhodné pro měření, monitorování a řízení elektrických zařízení a systémů. Tyto transformátory umožňují přesné a bezpečné měření elektrických veličin bez přímého kontaktu s vysokonapěťovým systémem. Každý měřicí transformátor může s dostatečnou přesností (tj. s přijatelně velkými chybami) transformovat pouze jednu ze dvou primárních veličin (proud nebo napětí). Na základě toho rozlišujeme mezi měřicími transformátory proudu a měřicími transformátory napětí. [5][6]



Obrázek 1 Přístrojové transformátory proudu a napětí [7]

### 1.1.1 Přístrojový transformátor napětí (PTN)

Přístrojové transformátory napětí (PTN) snižují vysoké napětí na nižší úroveň, která je bezpečná pro měřicí a ochranná zařízení. Konstrukce napěťových transformátorů je navržena tak, aby transformátory udržovaly přesný poměr mezi napětím vstupním a výstupním, díky čemuž je možné přesné měření napětí a energie v elektrických sítích. Napěťové transformátory mají nízkou rozptylovou reaktanci, jejich budící proud je velikostně srovnatelný s proudem, který prochází vnějším elektrickým obvodem připojeným k sekundárním svorkám, což znamená, že jejich budící impedance je malá. Jsou navrženy tak, aby napětí bylo transformováno s malými chybami v rámci předem stanovených tolerancí, přičemž chyba proudu není důležitá. Jejich provozní oblast je blízká provozu transformátoru naprázdno. Hlavními faktory, které určují jejich funkční vlastnosti, jsou napětí  $U_1$  a  $U_2$  ve vektorovém diagramu a odpory obou vinutí  $R_1$  a  $R_2$ , stejně jako rozptylová reaktance  $X$ . [3][4][5][8]



Obrázek 2 Přístrojový transformátor napětí [9]

Stejně jako většina transformátorů, tak i přístrojový transformátor napětí funguje na principu elektromagnetické indukce. Na primární vinutí transformátoru je přivedeno zdrojové napětí, čímž dojde k vytvoření magnetického pole v jádře transformátoru. Magnetické pole se pak dále šíří do sekundárního vinutí a indukuje v něm napětí. Velikost indukovaného napětí závisí na počtu závitů sekundárního vinutí v porovnání s počtem závitů primárního vinutí a také na hodnotě vstupního napětí. [3][5]

### 1.1.2 Přístrojový transformátor proudu (PTP)

Přístrojové transformátory proudu slouží ke snížení vysoké proudové hladiny na nižší úroveň, která je bezpečná pro měřicí a ochranná zařízení. Proudové transformátory jsou navrženy tak, aby udržovaly přesný poměr mezi vstupním a výstupním proudem, což umožňuje přesné měření proudu a energie v elektrických sítích. Proudové transformátory jsou charakterizovány nízkým budícím proudem, což znamená velkou budící impedanci. Jejich rozptylová reaktance je velikostně srovnatelná s impedancí vnějšího elektrického obvodu připojeného k sekundárním svorkám. Jsou navrženy tak, aby proud byl transformován s malými chybami v rámci předem stanovených tolerancí, přičemž chyba napětí není důležitá. Jejich provozní oblast se přibližuje provozu transformátoru nakrátko. Hlavním faktorem, který určuje jejich funkční vlastnosti, je trojúhelník proudů ve vektorovém diagramu. [3][5][8]



Obrázek 3 Přístrojový transformátor proudu [10]

Princip činnosti přístrojového transformátoru proudu (CT) spočívá v použití elektromagnetické indukce pro převod vysokého proudu na nižší a bezpečnější úroveň, která je vhodná pro měřicí a ochranná zařízení. Když prochází vysoký proud primárním vinutím, vytváří se kolem něj magnetický tok. Tento magnetický tok prochází magnetickým jádrem a indukuje napětí v sekundárním vinutí. Díky velkému počtu otoček v sekundárním vinutí je indukované napětí v sekundárním vinutí vyšší než v primárním vinutí. Výsledkem je nižší proud na sekundární straně, který je přímo úměrný původnímu proudu v primárním vinutí v závislosti na převodním poměru transformátoru. [3][5]

### 1.1.3 Využití přístrojových transformátorů

Přístrojové transformátory slouží k měření elektrických veličin v elektrických sítích. Používají se především k měření napětí a proudu v sítích, kde je vysoké napětí a proud, např. v rozvodnách, energetických zdrojích a průmyslových provozech. Dále se používají i k regulaci napětí a výkonu v elektrických zařízeních. Přístrojové transformátory se běžně používají v energetických rozvodnách, přenosových a distribučních sítích, průmyslových zařízeních a dalších elektrických systémech, kde je nutné měřit a monitorovat elektrické parametry, kterými jsou mimo napětí a proudu také energie a výkon. Kromě měření poskytují přístrojové transformátory také izolaci mezi vysokonapětovým systémem a měřicími a ochrannými zařízeními, což zvyšuje bezpečnost a spolehlivost celého systému. [3][5]

## 1.2 Izolační zkouška přístrojových transformátorů

Izolační zkouška přístrojového transformátoru je test, který se provádí za účelem ověření kvality izolace a odolnosti přístrojového transformátoru vůči průniku vysokého napětí. Tento test se obvykle provádí při výrobě, instalaci a pravidelných kontrolách transformátoru, aby se zajistilo, že může bezpečně a spolehlivě provozovat při svém nominálním napětí.

Izolační zkoušky zahrnují aplikaci vysokého napětí na jednotlivé části transformátoru a sledování projevů průrazu nebo ztráty izolace. Cílem těchto zkoušek je ověřit, že izolace je dostatečně silná a odolná, aby odolala napětí a zátěži, které transformátoru při provozu čelí, a také identifikovat a opravit případné nedostatky v izolaci. Mezi běžné izolační zkoušky přístrojových transformátorů patří:

- Zkouška izolačního odporu: Měření izolačního odporu mezi navzájem oddělenými částmi transformátoru, například mezi vinutími a zemí nebo mezi jednotlivými vinutími.
- Zkouška napětového průrazu: Aplikace vysokého napětí na izolaci a sledování průniku elektrického oblouku nebo průrazu.
- Zkouška částečných výbojů: Detekce a měření elektrických výbojů v izolaci, které mohou naznačovat poškození nebo nedostatky.
- Zkouška izolační pevnosti: Aplikace vysokého napětí na izolaci a sledování její odolnosti vůči mechanickému namáhání.

Výsledky izolačních zkoušek jsou důležité pro zajištění bezpečnosti, spolehlivosti a dlouhodobého provozu přístrojového transformátoru. [5][6][11]

### 1.2.1 Technické prostředky pro provádění izolační zkoušky

Mezi zařízení a nástroje, které se běžně používají pro provádění izolační zkoušky patří například tyto:

- Izolační odporový měřič (megger): Tento přístroj měří izolační odpor mezi různými částmi transformátoru, jako jsou vinutí a zem nebo mezi jednotlivými vinutími. Megger poskytuje rychlé a přesné výsledky, které pomáhají určit stav izolace.
- Vysokonapěťový zdroj: Tento zdroj je potřebný pro aplikaci vysokého napětí na izolaci transformátoru během zkoušky napěťového průrazu a zkoušky izolační pevnosti. Vysokonapěťový zdroj obvykle poskytuje nastavitelné napětí až do několika stovek kilovoltů (kV).
- Osciloskop nebo částečný výbojový detektor: Tento přístroj se používá k detekci a záznamu částečných výbojů v izolaci transformátoru. Osciloskop nebo částečný výbojový detektor měří a zaznamenává časový průběh napětí a proudu během zkoušky, což umožňuje analýzu a hodnocení izolace.
- Voltmetr a ampérmetr: Tyto nástroje měří napětí a proud v různých částech transformátoru během izolační zkoušky, což umožňuje monitorovat a hodnotit výkon transformátoru a jeho izolace.
- Teploměr nebo termokamera: Tyto zařízení měří teplotu izolace transformátoru během zkoušky. Zvýšená teplota může naznačovat problémy s izolací, jako je přehřátí nebo degradace materiálu.
- Transformátorová zkoušečka: Tento přístroj se používá k provádění různých elektrických zkoušek na transformátorech, jako je měření napěťového poměru, zkouška izolačního odporu, zkouška částečných výbojů a zkouška izolační pevnosti.

Těmito technickými prostředky bývají vybaveny zkušebny, kde se po vyrobení každý transformátor musí změřit a otestovat podle patřičných předpisů a norem. [5][12]

### 1.2.2 Postup při provádění izolační zkoušky

Při zkoušce zkušebním napětím nesmí nastat na zkoušeném transformátoru přeskok nebo průraz. Při přeskoku nebo průrazu se zvýší proud zkušebního transformátoru a uvede v činnost nadproudové relé, které signalizuje izolační závadu. U některých zkušebních zařízení dává relé současně popud k vypnutí zkušebního zařízení, aby se zkoušený transformátor příliš nepoškodil vzniklým obloukem. Náhlé vypnutí zkušebního zařízení však vyvolá vysoká

přepětí oscilačního charakteru, která mohou ohrozit izolaci zkušebního zařízení. Z toho důvodu se tento způsob nedoporučuje zvláště u nákladných a drahých zařízení. Na menší izolační závady však relé nepůsobí a z toho důvodu je vhodné zařadit do zemního svodu zkoušeného transformátoru indikátor průrazu. [5][6]

Při jmenovitém kmitočtu zkoušeného transformátoru (50 Hz nebo 60 Hz) je doba trvání zkoušky 1 minuta. Při použití vyššího kmitočtu, než je dvojnásobek jmenovitého kmitočtu zkoušeného transformátoru, je doba trvání zkoušky dána vzorcem:

$$t = 60 \cdot \frac{2f_u}{f_z} [s; Hz]$$

Zkušební doba však nesmí být kratší než 30 s.

Při zkoušce závitové izolace transformátorů proudu se některé z vinutí (primární nebo sekundární) napájí proudem z regulačního zdroje střídavého napětí. Ostatní vinutí jsou nezatížena (otevřené svorky). Napětí se pozvolna zvyšuje, až efektivní hodnota proudu dosáhne jmenovité hodnoty proudu napájeného vinutí nebo vrcholová hodnota napětí na vinutí s nejmenším jmenovitým proudem dosáhne hodnoty 3 kV. Poté se proud pozvolna snižuje, aby se transformátor nezmagnetizoval. Touto zkouškou se současně odmagnetizuje jádro před měřením přesnosti. [5][6]

Technické normy, které se zabývají izolačními zkouškami přístrojových transformátorů, zahrnují mezinárodní a regionální normy, jako jsou:

- IEC 61869-1 a IEC 61869-2: Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC) stanovuje normy pro zkoušky a provoz přístrojových transformátorů proudových a napěťových.
- IEEE C57.13: Americký institut pro elektrotechniku a elektroniku (IEEE) stanovuje normy pro zkoušky a provoz přístrojových transformátorů v USA.
- EN 61869-1 a EN 61869-2: Evropský výbor pro normalizaci (CEN) stanovuje normy pro zkoušky a provoz přístrojových transformátorů v Evropě.

Normy poskytují podrobné pokyny pro provádění různých izolačních zkoušek, včetně postupů, hodnotících kritérií a bezpečnostních opatření. Tyto technické normy je při provádění izolačních zkoušek přístrojových transformátorů důležité dodržovat. Zajistí se tak bezpečnost a spolehlivost vyráběných transformátorů v průběhu jejich celého životního cyklu. [5][11][13][14]



## 2 ROBOTIKA

Robotika je vědní a inženýrský obor zabývající se návrhem, konstrukcí, provozem a aplikacemi robotů. Roboty jsou automatizovaná zařízení, která mohou provádět různé úkoly bez přímého lidského zásahu nebo řízení. Robotika kombinuje prvky strojírenství, elektroniky, informatiky, umělé inteligence a řídicích systémů.

Pojem "robotika" byl poprvé použit v roce 1941 v povídce "Runaround" od Isaaca Asimova, který také vytvořil slavné "Tři zákony robotiky".

Robotika se zaměřuje na vytváření efektivních a inteligentních robotů, které mohou vykonávat složité úkoly a zlepšovat lidský život. Roboty se používají v různých průmyslových odvětvích, jako je výroba, logistika, zdravotnictví, zemědělství, stavebnictví a vojenství. Dále jsou využívány pro výzkum, záchranné mise, průzkum těžko dostupných prostředí, jako jsou hluboké oceány nebo vesmír, a v mnoha dalších aplikacích.

Vývoj robotiky zahrnuje řadu úkolů a disciplín, jako je návrh hardwaru, programování, řízení pohybu, interakce s lidskými uživateli, strojové učení a umělá inteligence. Robotika se neustále vyvíjí a přináší nové technologie a inovace, které ovlivňují způsob, jakým pracujeme, žijeme a navzájem komunikujeme.

Nedílnou součástí robotiky je také mechatronika, která se zaměřuje na návrh a konstrukci různých komponent robotů, jako jsou aktuátory (motory, servomotory), senzory (snímače polohy, tlaku, teploty), mechanické části (klouby, převody) a řídicí jednotky (mikrokontroléry, PLC). Mechatronika hraje klíčovou roli v procesu vytváření komplexních a efektivních robotických systémů, které mohou fungovat autonomně nebo interagovat s lidskými uživateli a okolním prostředím. [15][2]

### 2.1 Automatizace

Automatizace je proces, který se zaměřuje na použití technologie, zejména řídicích systémů a strojního zařízení, k provádění pracovních úkolů s minimálním nebo žádným lidským zásahem. Automatizace hraje důležitou roli ve zvyšování efektivity, zlepšování kvality a snižování nákladů v mnoha průmyslových odvětvích. Mezi hlavní cíle automatizace patří:

- Zvýšení produktivity: Automatizace může zkrátit dobu výroby a zvýšit objem produkce.

- Zlepšení kvality: Snížení lidských chyb a zajištění vyšší úrovně přesnosti a konzistence.
- Snižování nákladů: Automatizace může vést ke snížení pracovních nákladů a dalších provozních nákladů.
- Zlepšení pracovních podmínek: Automatizace může převzít nebezpečné nebo monotónní úkoly, což zlepšuje pracovní prostředí pro zaměstnance.

Automatizace je klíčovým faktorem v moderním průmyslu, který zvyšuje efektivitu, snižuje náklady a zlepšuje kvalitu výrobků. Historie automatizace sahá až do průmyslové revoluce, kdy byly zavedeny stroje a mechanizace, a pokračuje až do současnosti, kdy se stále více využívá robotika, umělá inteligence a internet věcí. [1][16][17][18][19]

### 2.1.1 Historie a vývoj automatizace

Historie automatizace sahá až do starověku, když byly vynalezeny první mechanické zařízení a stroje pro usnadnění každodenních úkolů. Tyto první vynálezy, jako například vodní kola, zahradní automaty či představitelé antických řeckých a římských automatů, byly jednoduché mechanismy, které přesto představovaly základní principy automatizace.

V období středověku se automaty staly populárnějšími, zejména ve formě hodin a různých automatizovaných loutek, které sloužily jako zábava pro šlechtu. Tyto stroje byly poháněny ručně navíjenými pružinami nebo závažími, která se postupně uvolňovala a poháněla mechanismy uvnitř.

Vědecká revoluce 17. století přinesla větší pochopení fyzikálních zákonů a umožnila vývoj rafinovanějších mechanismů, které využívaly páky, kladek a ozubených kol. Postupně se začaly vyvíjet stroje, které dokázaly automatizovat složitější úkoly, jako je textilní výroba či tisk.

S příchodem průmyslových revolucí došlo k exponenciálnímu růstu v automatizaci a výrobě. První průmyslová revoluce zavedla parní stroje a mechanizaci, zatímco druhá průmyslová revoluce přinesla elektrifikaci, což umožnilo ještě větší automatizaci výrobních procesů. Třetí průmyslová revoluce zahrnovala digitalizaci a využití počítačových systémů pro řízení a kontrolu automatizovaných strojů, což zásadně změnilo průmysl a způsob, jakým společnosti provozovaly své výrobní linky.

Historie automatizace je tedy neodmyslitelně spojena s průmyslovými revolucemi, které zásadně ovlivnily vývoj a využití automatizovaných systémů v průmyslu a ve společnosti jako celku.

#### 1. Průmyslová revoluce

Historie automatizace sahá až do průmyslové revoluce na konci 18. a začátku 19. století, kdy byly zavedeny stroje a mechanizace, aby se zvýšila efektivita výroby. První průmyslová revoluce přinesla vynález parního stroje, který byl použit k pohonu strojů a zvýšení produkce.

#### 2. Elektrifikace a druhá průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce, která začala v polovině 19. století, byla spojena s elektrifikací a rozšířením telekomunikací. Elektrická energie umožnila další automatizaci výrobních procesů a zvýšila rychlost a efektivitu strojů.

#### 3. Elektronika, počítače a třetí průmyslová revoluce

Třetí průmyslová revoluce, která začala v polovině 20. století, zahrnovala rozvoj elektroniky, počítačů a automatizace. První programovatelné logické řadiče (PLC) byly vyvinuty v 60. letech 20. století a umožnily vyšší úroveň automatizace a kontrolu v průmyslovém prostředí. Počítače také umožnily vytváření složitějších algoritmů a řídicích systémů, což vedlo k vyššímu stupni automatizace.

#### 4. Čtvrtá průmyslová revoluce a průmysl 4.0

Čtvrtá průmyslová revoluce, známá také jako Průmysl 4.0, začala na počátku 21. století a je spojena s rozvojem kyberfyzikálních systémů, internetu věcí (IoT), umělé inteligence (AI) a robotiky. Tyto technologie umožňují lepší propojení a komunikaci mezi stroji, zařízeními a lidmi, což vede k větší integraci a automatizaci průmyslových procesů.

Současné trendy v automatizaci, jako je robotika, kobotika, umělá inteligence a strojové učení, internet věcí a průmyslový internet věcí, přinášejí nové možnosti pro efektivitu a inovace v průmyslových procesech.

- Robotika a kobotika

Robotika je významným prvkem současné automatizace. Průmysloví roboti jsou používáni v řadě odvětví, jako je automobilový průmysl, elektronika a zdravotnictví, kde provádějí úkoly, jako je montáž, balení a manipulace s materiálem. Kobotika, což je oblast robotiky zaměřená na spolupráci mezi roboty a lidskými pracovníky, se

stává stále důležitější, protože umožňuje efektivní a bezpečnou interakci mezi roboty a lidmi.

- Umělá inteligence a strojové učení

Umělá inteligence (AI) a strojové učení (ML) umožňují vytváření algoritmů a řídicích systémů, které se mohou učit a adaptovat na základě dat a zkušeností. Tyto technologie přinášejí nové možnosti pro automatizaci, jako je prediktivní údržba, kdy se stroje mohou "naučit" předvídat potřebu údržby nebo opravy, což snižuje provozní náklady a zvyšuje efektivitu.

- Internet věcí (IoT) a průmyslový internet věcí (IIoT)

IoT a IIoT umožňují propojení a komunikaci mezi stroji, zařízeními a lidmi prostřednictvím internetu. Tyto technologie umožňují shromažďování, analýzu a výměnu dat v reálném čase, což vede k lepšímu řízení a optimalizaci průmyslových procesů.

Díky těmto pokročilým technologiím se očekává, že automatizace bude i nadále hrát klíčovou roli v budoucím rozvoji průmyslu a ekonomiky. [1][16][17][18][20]

## 2.2 Roboty

Podle Ing. Ivana M. Havla, CSc. je definice robotu následující: „*Robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí.*“ [21]

Robot je automatický stroj či zařízení, které je schopno provádět úkoly a operace, obvykle s využitím programování a zpětné vazby od senzorů. Roboty mohou být navrženy s různými stupni autonomie, od jednoduchých strojů s pevným programem až po složité systémy s umělou inteligencí a adaptivním chováním. Slovo "robot" pochází z českého slova "robota", což znamená nucená práce nebo dřina. Slovo "robot" bylo poprvé použito v roce 1920 v české hře "R.U.R." (Rossumovi univerzální roboti) od Karel Čapek. Hra pojednává o vytvoření umělých lidí, kteří byli navrženi k tomu, aby prováděli práci za skutečné lidi.

Roboty se obecně skládají z několika základních komponent, mezi které patří:

- Mechanická struktura: tělo a pohybové části robota, které mu umožňují provádět různé pohyby a manipulace.

- Aktuátory: prvky, které převádějí energii (např. elektrickou nebo hydraulickou) na pohyb nebo sílu, což umožňuje robotu provádět akce.
- Senzory: zařízení, která sbírají informace o okolním prostředí nebo stavu robota, jako jsou poloha, rychlost, teplota nebo tlak. Tyto informace mohou být použity pro zpětnou vazbu a řízení robota.
- Řídící jednotka: zpracovává informace ze senzorů, provádí výpočty a vydává příkazy aktuátorům, aby robot mohl provádět úkoly a reagovat na podmínky v prostředí.
- Napájení: zdroje energie, které pohánají robot, jako jsou baterie, palivové články nebo připojení k elektrické síti.
- Softwarové komponenty: programy a algoritmy, které řídí robot a umožňují mu provádět úkoly, učit se a přizpůsobovat se novým situacím.

V závislosti na konkrétním typu a použití robota mohou být některé z těchto komponent výrazně zdokonaleny, zjednodušeny nebo zcela vynechány. Roboty mohou být také kombinovány s dalšími technologiemi, jako je strojové vidění, mechatronika nebo umělá inteligence, což rozšiřuje jejich schopnosti a potenciální uplatnění.

Jedním z hlavních aspektů při návrhu a konstrukci robotů je jejich interakce s lidskými uživateli a okolním prostředím. V závislosti na účelu a prostředí, ve kterém bude robot používán, mohou být kladené různé nároky na bezpečnost, ergonomii, spolehlivost a komunikaci s lidmi. Některé roboty, jako jsou tzv. kolaborativní roboty (nebo koboti), jsou navrženy tak, aby pracovaly přímo s lidmi a sdílely s nimi pracovní prostor, což klade zvýšené nároky na bezpečnostní funkce a intuitivní ovládání.

V současné době se roboty používají v široké škále průmyslových, komerčních, vědeckých a domácích aplikací. Příklady zahrnují montážní linky v automobilovém průmyslu, automatické skladové systémy, zdravotnické roboty pro chirurgii nebo rehabilitaci, zemědělské roboty pro sklizeň nebo sázení plodin, domácí roboty pro úklid nebo péči o zvířata, a výzkumné roboty pro průzkum nebezpečných nebo nedostupných prostředí, jako jsou hluboké oceány, sopky nebo vesmír. [15][21]

### 2.2.1 Historie robotů

Historie robotů sahá až do starověku, kdy byly vynalezeny první automatizované mechanismy a stroje, které se dnes dají považovat za předchůdce robotů. Tento vývoj je úzce spojen s pokrokem v oblasti techniky, matematiky a fyziky.

V antickém Řecku a Římě byly vyvinuty první automatizované mechanismy, které využívaly vodní nebo hodinové mechanismy, jako například Herónovy automaty nebo Ctesibiovo hydraulické varhany. Vývoj pokračoval v období islámského zlatého věku (8. až 13. století), kdy vynálezci jako Al-Jazari vytvářeli sofistikované automaty a hydraulické stroje. V období renesance se objevují první návrhy humanoidních automatů, jako je známý da Vinciův robot.

Moderní historie robotů začíná ve 20. století s vývojem průmyslových robotů, jako je Unimate, první průmyslový robot vyvinutý v roce 1954 americkým inženýrem Georgem Devolem. Unimate byl poprvé nasazen v roce 1961 v automobilové továrně General Motors a sloužil k manipulaci s kovovými díly a svařování. Od té doby se průmyslová robotika rychle rozvíjela a stala se klíčovým prvkem ve výrobních procesech po celém světě.

V 70. a 80. letech 20. století došlo k rozšíření robotiky do dalších oblastí, jako je výzkum a vývoj, lékařství, zemědělství a domácnosti. Vývoj pokročilých senzorů, mikroprocesorů a algoritmů umožnil vznik robotů s vyšší inteligencí, adaptabilitou a schopností interagovat s lidmi a okolním prostředím. V posledních desetiletích se robotika stala multidisciplinárním oborem, který zahrnuje prvky z informatiky, elektrotechniky, strojírenství, biologie a psychologie.

V 90. letech a v prvním desetiletí 21. století se začaly objevovat první domácí roboti, jako je robotický vysavač Roomba od společnosti iRobot. Tyto roboty představovaly další vývoj v robotice, který umožnil jejich širší využití v běžném životě. Současně se rozvíjela i oblast human-robot interaction (HRI), která se zaměřuje na interakci mezi lidmi a roboty, což umožnilo vznik sociálních robotů, jako je robot Pepper od společnosti SoftBank Robotics.

V posledních letech se robotika stále více zaměřuje na vývoj autonomních robotů, které se dokážou pohybovat a provádět úkoly bez lidského dohledu. Významným příkladem tohoto trendu jsou autonomní vozidla, která využívají pokročilé senzory, algoritmy a strojové učení k navigaci a řízení bez nutnosti lidského řidiče.

Robotika tedy prošla dlouhou a fascinující historií, která sahá až do starověku a pokračuje až do současnosti s rozvojem stále sofistikovanějších a inteligentnějších robotů. Tento vývoj je úzce spojen s pokrokem v oblasti techniky, matematiky, fyziky a dalších disciplín, které přispěly k vytvoření široké škály robotů pro nejrůznější aplikace v průmyslu, výzkumu, medicíně, zemědělství a domácnostech. [2][19][21]

### 2.2.2 Dělení robotů

Dělení robotů je základním krokem k lepšímu pochopení široké škály typů a kategorií robotů, které byly vyvinuty pro různé účely a aplikace. Roboty lze klasifikovat podle různých kritérií:

- Konstrukce robotů – zde se roboty dělí na pevné, mobilní a modulární roboty. Pevné roboty jsou obvykle umístěny na jednom místě a mají omezený rozsah pohybu, zatímco mobilní roboty se mohou volně pohybovat prostředím. Modulární roboty jsou tvořeny jednotlivými moduly, které lze kombinovat a upravovat podle potřeby.
- Pohon – podle kterého můžeme rozlišovat mezi hydraulicky, pneumaticky a elektricky poháněnými roboty. Každý z těchto způsobů pohonu má své vlastní výhody a nevýhody, které ovlivňují výkon a efektivitu robotů.
- Ovládání – podle kterého můžeme rozlišovat mezi autonomními, poloautonomními a teleoperovanými roboty. Autonomní roboty se dokážou samostatně rozhodovat a provádět úkoly bez lidského dohledu, zatímco poloautonomní a teleoperované roboty vyžadují určitou míru lidského zásahu nebo řízení.
- Pohyb – rozlišuje roboty podle způsobu, jakým se pohybují. Příkladem jsou roboti s nohama, kolovými nebo pásovými podvozky a létající roboty.
- Programování robotů – podle kterého můžeme rozlišovat mezi roboty s pevným programem, adaptivními roboty a roboty s umělou inteligencí. Roboty s pevným programem vykonávají předem definované úkoly, zatímco adaptivní roboty a roboty s umělou inteligencí se dokážou učit a přizpůsobovat novým situacím.

Dělení robotů je klíčem k lepšímu porozumění a hodnocení jejich schopností, omezení a potenciálních aplikací v různých oblastech. Vědomosti o různých kategoriích robotů nám umožňují lépe analyzovat a navrhovat robotické systémy pro konkrétní účely a úkoly. [2][15]

## 2.3 Průmyslové roboty

Průmyslový robot se liší od ostatních robotů především svým zaměřením na průmyslové aplikace a úkoly. Typický průmyslový robot je navržen tak, aby zvládal opakující se, rychlé a přesné činnosti, jako je sestavování, manipulace s materiálem, svařování, malování či paletizace. Průmyslové roboty jsou obvykle robustní, vysoce spolehlivé a mají dlouhou

životnost. Navíc jsou často integrovány do automatizovaných výrobních linek a pracují v koordinaci s dalšími stroji a zařízeními. [2][15][19][21]

Definice průmyslového robotu podle prof. P. N. Beljanina zní: „*Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.*“ [21]

### 2.3.1 Rozdělení průmyslových robotů podle generace

Průmyslové roboty prošly během své existence výrazným vývojem, zejména v oblasti programování a sensorického vybavení. V různých literárních pramenech se setkáváme s odlišnými přístupy k charakterizaci generací robotů. Jedno z těchto dělení, které rozlišuje pět hlavních generací průmyslových robotů je následující:

1. generace jsou roboty s programovým řízením, které vykonávají pevně naprogramované postupné operace. Tyto roboty jsou univerzální a použitelné pro různé druhy úkolů, zejména pro manipulační práce, jako je "zdvihnout a umístit" (pick and place).

1,5. generace robotů již zastávají úlohy typu „udělej a ověř“ (make and test). Jsou již vybaveny jednoduchými senzory.

2. generace se odlišuje od robotů 1. generace větším počtem a rozmanitostí senzorů, jak vnějších, tak vnitřních, a složitějším řízením. Tyto roboty potřebují řídicí počítač a pracují v systému "oko ruka" (eye hand).

2,5. generace robotů disponuje oproti předchozí i komplexními perceptualně-motorickými funkcemi

3. generace jsou roboty vybavené elementy umělé inteligence a jsou schopny učení a adaptace. Tyto stroje jsou určeny nejen pro imitaci fyzické činnosti člověka, ale také pro automatizaci jeho intelektuální činnosti. Mohou se učit a adaptovat na zadané úkoly.

Vývoj průmyslových robotů je spojitý proces s překrýváním jednotlivých generací. Roboty nižších generací budou i nadále uplatněny v určitých výrobních podmínkách s ohledem na ekonomickou rentabilitu jejich nasazení. Význam tohoto dělení spočívá v identifikaci hlavních vývojových trendů a technologických inovací v oblasti průmyslových robotů. Je důležité si uvědomit, že jedna generace robotů nenahrazuje okamžitě generaci předchozí. Místo



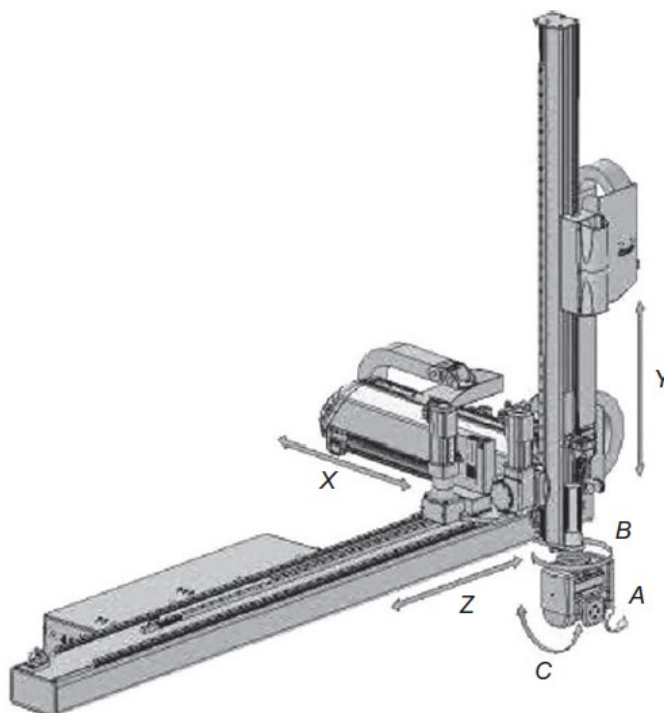
toho se jedná o kontinuální vývoj, přičemž roboty různých generací mohou koexistovat a pracovat společně v průmyslových aplikacích. [2][21][22]

### 2.3.2 Rozdělení průmyslových robotů podle konstrukce

Průmyslové roboty se používají v mnoha odvětvích a aplikacích, a jejich konstrukce se liší podle potřeb a požadavků daného úkolu. V kontextu průmyslových robotů se používají k popisu struktury a pohybových schopností robotů tak zvané kinematické řetězce. Kinematický řetězec je soustava pevných těles (článků) spojených klouby, které umožňují pohyb mezi jednotlivými články. Dva takto kloubem spojené články nazýváme kinematickou dvojicí. Kinematické dvojice se pak rozlišují podle způsobu vzájemného pohybu článků na posuvné (T – translační) a rotační (R). Kinematické řetězce mohou být otevřené nebo uzavřené, kde otevřené kinematické řetězce mají na každém konci volný článek, zatímco uzavřené řetězce tvoří uzavřenou smyčku. [2][21]

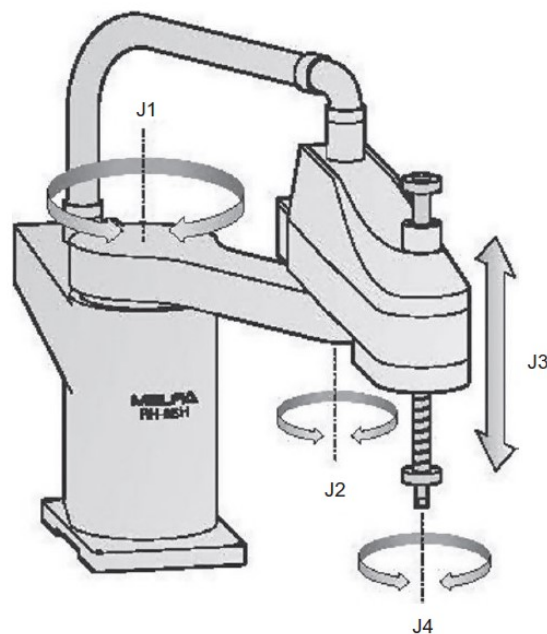
Průmyslové roboty lze rozdělit do několika hlavních kategorií podle jejich konstrukce:

- Kartézské roboty – také známé jako portálové roboty, mají tři lineární osy pohybu (X, Y a Z) uspořádané v pravoúhlém souřadnicovém systému. Tyto roboty jsou jednoduché a přesné, což je činí vhodnými pro aplikace jako montáž, zvedání a přemisťování objektů.



Obrázek 4 Příklad paralelní konstrukce robotu [19]

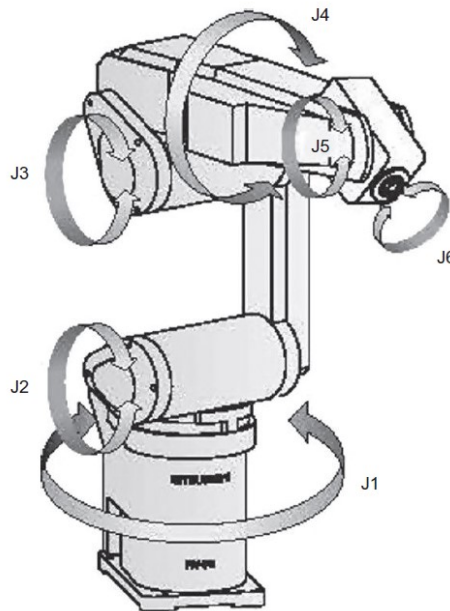
- Cylindrické roboty – mají jednu rotační osu (R) a dvě lineární osy (Z a Y). Nabízejí pevnou konstrukci s výborným přístupem do prostorů a dutin. Navíc se snadno programují a vizualizují. Vyžadují ale otevřený prostor za ramenem. Jsou zvláště vhodné pro obsluhu strojů a obecné pick-and-place aplikace. Hlavní oblastí použití je elektronický průmysl, zejména v čistých místnostech. Tyto roboty se často používají v aplikacích, kde je potřeba větší vertikální dosah, jako je manipulace s materiálem, montáž a svařování.
- SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) roboty – mají čtyři osy pohybu, které umožňují pohyb v horizontální rovině. Díky svému konstrukčnímu řešení se SCARA roboty vyznačují vysokou rychlostí, přesností a schopností provádět montážní úkoly, jako jsou vkládání a šroubování součástek. Tento typ robotů je obzvláště oblíbený v oblastech, kde je potřeba rychlost a přesnost, například v elektronickém průmyslu nebo v automobilovém sektoru. SCARA roboty mají navíc selektivní tuhost, což znamená, že jsou tuhé v horizontálním směru, ale pružné ve směru svislém. Tato vlastnost jim umožňuje provádět úkoly, které vyžadují jemné a přesné manipulace s materiálem, aniž by došlo k poškození součástek nebo zařízení.



Obrázek 5 Příklad konstrukce robotu SCARA [19]

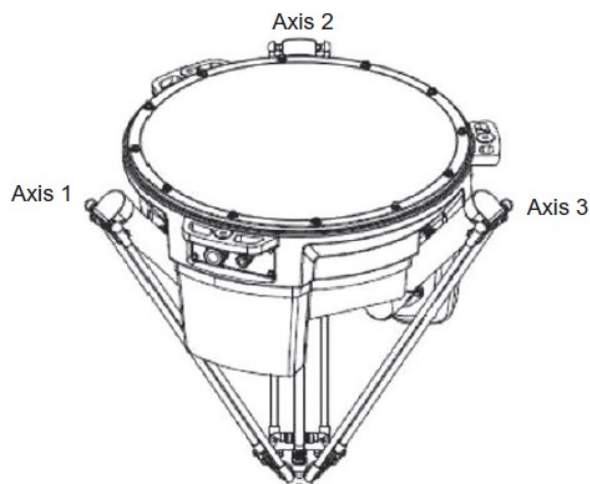
Výhodou SCARA robotů je jejich kompaktní konstrukce, která umožňuje snadné integraci do stávajících výrobních linek. Navíc jejich konstrukce umožňuje vysokou úroveň opakovatelnosti, což je klíčové pro montážní aplikace, kde je potřeba provádět úkoly s vysokou přesností a konzistentní kvalitou.

- Kloubové roboty – často nazývané robotické paže, mají několik rotačních os (nejčastěji 6), které dohromady tvoří kinematický řetězec. Díky tomuto uspořádání mají kloubové roboty velkou flexibilitu pohybu a široký pracovní dosah, což je činí vhodnými pro aplikace jako svařování, lakování, montáž a manipulaci s materiály.



Obrázek 6 Příklad kloubové konstrukce robotu [19]

- Paralelní roboty – někdy také nazývané delta roboty, se skládají z několika ramen připojených k pohyblivé plošině pomocí paralelních kinematických řetězců. Tyto roboty se vyznačují vysokou rychlostí a zrychlením, což je činí vhodnými pro aplikace, které vyžadují rychlé a přesné pohyby, jako je balení, montáž nebo manipulace s lehkými objekty.



Obrázek 7 Příklad konstrukce paralelního robotu [19]

Rozdělení průmyslových robotů podle konstrukce nám umožňuje lépe porozumět jejich pohybovým schopnostem a vhodnosti pro různé aplikace. [2][19][21]

### 2.3.3 Základní parametry

Průmyslové roboty mají celou škálu technických parametrů. Podle jejich významu při výběru průmyslového robotu pro danou aplikaci lze uvést především tyto:

- Stupně volnosti (DOF – Degrees of Freedom): Stupně volnosti udávají, kolik nezávislých pohybů může robot provádět. Většina průmyslových robotů má 4 až 6 stupňů volnosti, což jim umožňuje provádět složité pohyby a manipulace.
- Nosnost (Payload): Nosnost je maximální hmotnost, kterou může robot manipulovat, včetně hmotnosti efektoru a nástrojů. Nosnost ovlivňuje schopnost robota manipulovat s různě těžkými objekty.
- Pracovní prostor (Workspace): Pracovní prostor je prostor, ve kterém může robot manipulovat s objekty. Je omezen délkou ramen robota a stupni volnosti. Pracovní prostor může mít různé tvary a velikosti, například sférický, válcový nebo kartézský. Lze jej dále rozdělit na:
  - Dosažitelný prostor – zahrnuje oblast, kam robot dosáhne koncovým bodem efektoru alespoň při jedné jeho orientaci.
  - Pohotovostní prostor – je podmnožinou dosažitelného prostoru, kam je robot schopen dosáhnout koncovým bodem efektoru ve všech jeho orientacích.
- Rychlost a cyklový čas: Rychlost robota je maximální rychlost, kterou může robot pohybovat svými rameny a koncovým efektozem. Cyklový čas je doba potřebná pro dokončení jednoho pracovního cyklu. Rychlost a cyklový čas ovlivňují produktivitu a efektivitu robota.
- Opakovatelnost a přesnost: Opakovatelnost je schopnost robota dosáhnout stejné polohy při opakovaném provádění stejného pohybu. Přesnost je míra, jak dobře robot může dosáhnout požadované polohy nebo orientace. Vyšší opakovatelnost a přesnost jsou důležité pro aplikace, které vyžadují vysokou úroveň kontrola pohybu, jako je svařování nebo montáž.
- Integrace a kompatibilita: Schopnost robota integrovat se s dalšími zařízeními, jako jsou řídicí systémy, koncové efektozy, senzory a další průmyslová zařízení, je důležitá pro jeho flexibilitu a široké využití.

Tyto základní parametry slouží jako vodítko při výběru průmyslového robota pro konkrétní aplikaci. Je důležité zvážit všechny tyto faktory, aby byl robot schopen splnit požadavky daného průmyslového procesu. [19][21][23]

### 2.3.4 Efektory

Efektory průmyslových robotů, často nazývané také robotické koncové části nebo end-of-arm tooling (EOAT), jsou klíčovou součástí průmyslových robotických systémů. Efektory představují rozhraní mezi robotem a manipulovaným objektem a mají zásadní význam pro úspěch celého robotického systému. V průmyslu se užívají různé typy efektorů v závislosti na aplikaci dané technologie. [19][21]

#### 2.3.4.1 Typy efektorů

Efektory průmyslových robotů lze posuzovat podle mnoha různých parametrů. Nejčastěji se však posuzuje účel jejich použití a dělí se podle toho do několika základních kategorií:

- Grippers – slouží k uchopení a manipulaci s objekty. Existuje několik typů gripperů, jako jsou mechanické, pneumatické, vakuové a magnetické grippers, které se liší svými principy a vlastnostmi.
- Svařovací efektory – se používají v robotických svařovacích aplikacích, jako je obloukové svařování (MIG/MAG, TIG) nebo odporové bodové svařování.
- Nástroje pro lakování – se používají pro aplikace, které zahrnují nástřik barvy, lakování nebo jiných povrchových úprav. Nejvíce je zde zastoupeno lakování karosérií v automobilovém průmyslu.
- Montážní efektory – se používají k automatizaci montážních procesů, jako je šroubování, lepení, nebo sestavování součástí.
- Nástroje pro řezání a obrábění – zahrnují nástroje, jako jsou frézy, laserové řezací hlavy nebo plazmové řezací systémy, které se používají v robotických obráběcích stanicích.

[2][19][21]

#### 2.3.4.2 Výběr efektoru

Při výběru efektoru pro průmyslového robota je důležité zvážit několik faktorů, jako jsou:

- Aplikace – typ efektoru musí být vhodný pro konkrétní aplikaci, která zahrnuje manipulaci s objekty, svařování, malování, montáž nebo řezání.

- Nosnost a rozměry – efektor musí být schopen manipulovat s objekty o požadované hmotnosti a rozměrech. Je třeba zohlednit maximální nosnost robota a zda efektor a manipulovaný objekt společně nepřekročí tuto hranici.
- Rychlost a přesnost – efektor by měl být schopen pracovat s požadovanou rychlostí a přesností, které jsou klíčové pro úspěch dané aplikace. Je třeba zohlednit cyklový čas, opakovatelnost a polohovou přesnost efektoru.
- Kompatibilita s robotem – efektor musí být kompatibilní s robotickým systémem a řídicím systémem robota. To zahrnuje napájení, komunikaci, uchycení a další aspekty.
- Integrace senzorů – v některých případech může být potřeba integrovat senzory do efektoru, například pro snímání polohy objektu nebo měření síly. V takových případech je důležité zohlednit možnosti efektoru pro integraci senzorů a jejich kompatibilitu s robotickým systémem.

Efektory průmyslových robotů jsou nezbytnou součástí robotických systémů, které umožňují robotům provádět širokou škálu úkolů v různých průmyslových aplikacích. Při výběru efektoru je důležité pečlivě zvážit faktory, jako jsou aplikace, nosnost, rychlost, přesnost, kompatibilita a údržba, aby bylo zajištěno úspěšné a efektivní nasazení robota. [2][19][21][23]

## 2.4 Strojové vidění

Strojové vidění je interdisciplinární obor, který se překrývá s umělou inteligencí, počítačovým viděním, robotikou a zpracováním obrazu. Jeho hlavním cílem je navrhnout a vytvořit systémy, které mohou automaticky získávat a interpretovat vizuální informace ze světa, aby mohly provádět úkoly, které normálně vyžadují lidské vidění. Strojové vidění zahrnuje následující klíčové aspekty:

- Akvizice dat: Získání obrazových dat pomocí kamery, senzorů nebo jiných zařízení. Tato data mohou být ve formě statických obrazů, videosekvencí, 3D snímků nebo multispektrálních snímků.
- Předzpracování: Úprava získaných obrazových dat, aby byla odstraněna nežádoucí šum, zkreslení nebo artefakty, které by mohly ovlivnit další analýzu. To zahrnuje filtraci, normalizaci kontrastu, odstranění šumu nebo geometrické korekce.

- Zpracování obrazu: Analyzování obrazových dat za účelem extrakce užitečných informací, které mohou být použity pro další úkoly, jako je rozpoznávání objektů, sledování pohybu nebo měření velikosti a tvaru objektů.
- Rozpoznávání vzorů a strojové učení: Využití algoritmů a modelů, které umožňují systému "učit se" rozpoznávat a klasifikovat objekty, scény nebo činnosti na základě tréninkových dat nebo zkušeností.
- Rozhodování a řízení: Integrace získaných informací do systému, který může provádět rozhodnutí nebo řídit další části systému, jako jsou robotické manipulátory, autonomní vozidla nebo dohledové kamery.

Strojové vidění se vyznačuje tím, že se snaží napodobit způsob, jakým lidé zpracovávají vizuální informace, a vytvořit systémy, které mohou provádět podobné úkoly stejně efektivně a přesně jako lidé. To zahrnuje schopnost rozpoznávat a rozlišovat objekty, sledovat pohyb, odhadovat hloubku a měřit velikost a tvar objektů. Kromě toho strojové vidění také zahrnuje schopnost učit se a adaptovat se na nové situace, což je klíčové pro vytvoření pružných a robustních systémů, které mohou fungovat ve složitých a dynamických prostředích. Pro dosažení těchto cílů se strojové vidění často spoléhá na pokročilé metody umělé inteligence a strojového učení, jako jsou neuronové sítě, genetické algoritmy nebo metody založené na statistice a pravděpodobnosti. Tyto metody umožňují systémům strojového vidění "učit se" z tréninkových dat, zlepšovat svou výkonnost v průběhu času a adaptovat se na nové situace nebo úkoly, které nebyly předem známy. [16][19][24][25]

#### 2.4.1 Historie a vývoj

Historie strojového vidění sahá až do 60. let 20. století, kdy výzkumníci začali zkoumat způsoby, jakými mohou počítače rozpoznávat a interpretovat vizuální informace. Od té doby se strojové vidění neustále rozvíjelo. Významným pokrokem v oblasti strojového vidění byl vývoj konvolučních neuronových sítí (CNN) a dalších hlubokých učících technik, které se ukázaly být velmi účinné pro rozpoznávání vzorů, objektů a scén. Tyto metody umožňují vytvářet sofistikované a výkonné systémy, které mohou dosahovat lidské úrovně výkonu v mnoha úlohách strojového vidění. [25][26]

Strojové vidění je stále důležitější součástí našeho každodenního života, s rostoucím počtem aplikací v oblastech, jako je průmysl, zdravotnictví, zemědělství, doprava nebo bezpečnost. Díky pokroku v oblasti umělé inteligence, počítačového vidění a výpočetní techniky je

potenciál strojového vidění neustále rozšiřován a očekává se, že jeho význam a dopad na společnost bude i nadále růst. [25][26]

### 2.4.2 Zpracování obrazu

Zpracování obrazu je klíčovou součástí strojového vidění a zahrnuje širokou škálu technik a metod, které umožňují extrahovat užitečné informace z digitálních obrazů. Níže jsou uvedeny některé hlavní aspekty zpracování obrazu:

1. **Předzpracování obrazu:** Předzpracování obrazu zahrnuje různé techniky pro zlepšení kvality obrazu nebo přípravu obrazu pro další zpracování. Příklady předzpracování obrazu zahrnují úpravu kontrastu, redukci šumu, změnu rozlišení nebo filtrace obrazu. Cílem předzpracování je zvýšit kvalitu obrazu a odstranit nežádoucí artefakty, které by mohly ovlivnit další analýzu.
2. **Segmentace obrazu:** Segmentace je proces rozdělení obrazu na jednotlivé oblasti nebo segmenty, které mají podobné vlastnosti, jako je barva, textura nebo intenzita. Segmentace je důležitým krokem v mnoha aplikacích strojového vidění, jako je detekce objektů, rozpoznávání tvarů nebo analýza obrazu. Existují různé metody segmentace, jako je prahování, shlukování, morfologické operace nebo hranová detekce.
3. **Extrakce rysů:** Extrakce rysů je proces identifikace a popisu klíčových vlastností obrazu, které mohou být použity pro analýzu nebo klasifikaci. Rysy mohou zahrnovat barvu, texturu, tvar, kontury nebo bodové zájmové body. Různé metody extrakce rysů zahrnují histogramy barev, Haarovy vlnky, Gaborovy filtry, SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) nebo HOG (Histogram of Oriented Gradients).
4. **Klasifikace a rozpoznávání:** Klasifikace a rozpoznávání zahrnují proces identifikace objektů nebo scén v obraze na základě extrahovaných rysů. Klasifikace může být založena na různých metodách strojového učení, jako jsou rozhodovací stromy, k-nejbližších sousedů, support vector machines (SVM) nebo neuronové sítě. Rozpoznávání může zahrnovat úkoly, jako je rozpoznávání tváří, rozpoznávání textu nebo rozpoznávání objektů.
5. **Rekonstrukce a registrace:** Rekonstrukce a registrace obrazu se zabývají procesem vytváření jednoho sjednoceného obrazu nebo modelu ze dvou nebo více obrazů získaných z různých pohledů nebo časových okamžiků. Registrace obrazu zahrnuje určení odpovídajících bodů nebo oblastí mezi dvěma nebo více obrazy a následně výpočet transformace, která umožní jejich zarovnání. Rekonstrukce se pak zaměřuje na



vytvoření 3D modelu scény nebo objektu z těchto zarovnaných obrazů. Metody používané v rekonstrukci a registraci obrazu zahrnují stereo-vision, strukturu z pohybu (SfM) nebo simultánní lokalizaci a mapování (SLAM).

6. Morfologické operace: Morfologické operace jsou metody zpracování obrazu založené na teorii množin a geometrii, které se používají k analýze a úpravě tvarů objektů v binárních obrazech. Morfologické operace zahrnují erozi, dilataci, otevření, uzavření a morfologické gradienty. Tyto metody jsou užitečné pro odstranění šumu, hranovou detekci, ztenčení nebo zesílení objektů a extrakci konektivních komponent.
7. Optický tok a sledování: Optický tok se zabývá analýzou změn v intenzitě obrazu mezi dvěma snímky v čase, což umožňuje odhad pohybu objektů ve scéně. Sledování objektů je proces sledování objektů v průběhu času v sekvenci snímků. Optický tok a sledování objektů jsou důležité pro aplikace, jako je sledování pohybu, stabilizace obrazu, rozpoznávání aktivit nebo navigace robotů.
8. Fúze dat a multimodální zpracování obrazu: Fúze dat zahrnuje kombinaci informací z různých zdrojů, jako jsou různé kamery, snímače nebo modality obrazu (např. optické, infračervené, rentgenové nebo magnetické rezonance). Multimodální zpracování obrazu se zabývá analýzou a integrací dat z různých zdrojů nebo modality pro zlepšení výkonu a robustnosti systému strojového vidění.

Tyto aspekty zpracování obrazu tvoří základ pro mnoho aplikací strojového vidění, jako je rozpoznávání objektů, navigace robotů, analýza medicínských obrazů, rozpoznávání tváří, rozpoznávání textu, monitorování bezpečnosti, počítačová grafika a virtuální realita.

Při implementaci systémů strojového vidění je často nutné kombinovat různé metody zpracování obrazu a přizpůsobit je konkrétním potřebám aplikace. Vývoj a výzkum v oblasti zpracování obrazu a strojového vidění pokračuje v objevování nových metod, algoritmů a technik, které zlepšují schopnost počítačů "vidět" a porozumět vizuálnímu světu. [16][19][24][25]

### 2.4.3 Aplikace strojového vidění

Strojové vidění se používá v široké škále aplikací, které zahrnují:

- Automatizace průmyslu: Kontrola kvality, detekce vad, sledování výroby nebo automatizace montáže.
- Bezpečnost a dohled: Rozpoznávání tváří, sledování pohybu, analýza chování nebo automatická analýza videa.

- Navigace a řízení robotů: Určování polohy, plánování cesty, detekce překážek nebo interakce s prostředím.
- Zdravotnictví: Analýza lékařských snímků, detekce a diagnostika nemocí, plánování chirurgických zákroků nebo rehabilitace.
- Automobilový průmysl: Asistenční systémy pro řidiče, autonomní řízení, parkovací asistence nebo detekce únavy řidiče.
- Zemědělství: Monitorování plodin, detekce škůdců, automatizace sklizně nebo řízení zavlažování.

Strojové vidění je stále více integrální součástí našeho každodenního života a s pokrokem v oblasti umělé inteligence a počítačového vidění je jeho potenciál stále rozšiřován. [24][25]

#### 2.4.4 Technické prostředky strojového vidění

Technické prostředky strojového vidění zahrnují širokou škálu zařízení a systémů, které umožňují získávání, zpracování a analýzu digitálních obrazů. Výběr a kombinace těchto technických prostředků jsou důležité pro úspěšnou implementaci strojového vidění v různých průmyslových a výzkumných aplikacích. Níže je uveden přehled klíčových technických prostředků, které se běžně používají ve strojovém vidění.

- Kamery a snímače – jsou základním prvkem systémů strojového vidění, které umožňují získávání digitálních obrazů. Existuje mnoho typů kamer a snímačů, které se liší v rozlišení, citlivosti, spektrálním rozsahu a dalších vlastnostech. Příklady zahrnují:
  - CCD (Charge-Coupled Device) kamery
  - CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) kamery
  - Infrčervené kamery (IR)
  - Stereoskopické kamery
  - 3D kamery (např. Time-of-Flight, LiDAR)
- Osvětlení – je důležitým aspektem strojového vidění, který ovlivňuje kvalitu získaných obrazů a výkon systému. Správný výběr a konfigurace osvětlení může zlepšit kontrast, snížit šum a zvýšit odolnost systému vůči změnám okolního osvětlení. Běžné typy osvětlení zahrnují:
  - Bodové zdroje světla
  - Lineární zdroje světla
  - Prstencové zdroje světla
  - Zadní osvětlení (backlight)

- Osvětlení s polarizovaným světlem
- Počítačový hardware a software – jsou nezbytné pro zpracování a analýzu digitálních obrazů. Výkonný hardware a optimalizovaný software umožňují rychlé a efektivní zpracování obrazů, což je důležité pro mnoho aplikací strojového vidění. Běžně používané technologie zahrnují:
  - CPU (Central Processing Unit)
  - GPU (Graphics Processing Unit) pro paralelní zpracování obrazu
  - FPGA (Field-Programmable Gate Array) pro zpracování obrazu v reálném čase
  - Zpracování obrazu
  - Software a knihovny pro zpracování obrazu, jako jsou OpenCV, TensorFlow, PyTorch, Caffe a MATLAB
- Komunikační a rozhraní – jsou nezbytné pro přenos dat mezi kamerami, snímači, osvětlením a počítačovými systémy. Existuje mnoho různých protokolů a standardů, které se používají ve strojovém vidění, včetně:
  - USB (Universal Serial Bus)
  - GigE Vision (Gigabit Ethernet)
  - Camera Link
  - CoaXPress
  - MIPI (Mobile Industry Processor Interface)
- Mechanické a optické komponenty – jsou důležité pro správné umístění a nastavení kamer, snímačů a osvětlení ve strojovém vidění. Tyto komponenty mohou zahrnovat:
  - Objektivy s různými ohniskovými délkami, clonami a zornými úhly
  - Filtry pro zvýšení kontrastu nebo potlačení nežádoucího světla
  - Mechanické držáky a montážní systémy pro kamery a osvětlení
  - Pohybové systémy, jako jsou lineární a rotační stoly nebo robotická ramena
- Kalibrace a měření – jsou klíčovými aspekty strojového vidění, které zajišťují přesnost a spolehlivost výsledků. Kalibrace zahrnuje určení geometrických a radiometrických vlastností kamery a snímače, zatímco měření zahrnuje kvantitativní analýzu získaných obrazů. Běžné techniky kalibrace a měření zahrnují:
  - Kalibrace kamery pomocí šachovnicových vzorů nebo kalibračních objektů
  - Kalibrace osvětlení pomocí měření intenzity a spektrálního rozložení světla

- 3D měření a rekonstrukce pomocí stereoskopického vidění, struktury z pohybu (SfM) nebo simultánní lokalizaci a mapování (SLAM)
- Algoritmické a analytické nástroje – jsou nezbytné pro efektivní zpracování a analýzu obrazových dat. Tyto nástroje mohou zahrnovat:
  - Algoritmy pro detekci hran, segmentaci obrazu a extrakci rysů
  - Strojové učení a umělé inteligence pro klasifikaci a rozpoznávání
  - Nástroje pro vizualizaci a interpretaci výsledků
  - Software pro řízení a koordinaci hardwarových komponent

Vývoj a výzkum v oblasti algoritmů a analytických nástrojů pokračují v objevování nových metod, technik a postupů, které zlepšují schopnosti strojového vidění a rozšiřují jeho možnosti.

- Integrace s jinými technologiemi – Strojové vidění se často kombinuje s dalšími technologiemi, jako jsou robotika, IoT (internet věcí), cloud computing, big data a další, aby byly vytvořeny komplexní a efektivní řešení. Integrace strojového vidění s těmito technologiemi umožňuje lepší koordinaci, automatizaci a rozšiřování aplikací.

Optimalizace a integrace těchto technologií umožňují dosažení vyšší úrovně výkonu, přesnosti a robustnosti v různých situacích. [22][25][27]

## 2.5 Programovatelné automaty

Definice (ČSN EN 61131–1): PLC je číslicově pracující elektronický systém konstruovaný pro použití v průmyslovém prostředí, využívající programovatelnou paměť pro interní ukládání uživatelsky orientovaných instrukcí pro provádění specifických funkcí (logických, sekvencních, časovacích, čítacích, komunikačních, organizačních) za účelem řízení strojů či procesů, a to prostřednictvím digitálních nebo analogových vstupů a výstupů. Jak programovatelná řídicí jednotka, tak periferní zařízení jsou konstruovány pro snadné začlenění do systémů průmyslového řízení. [17]

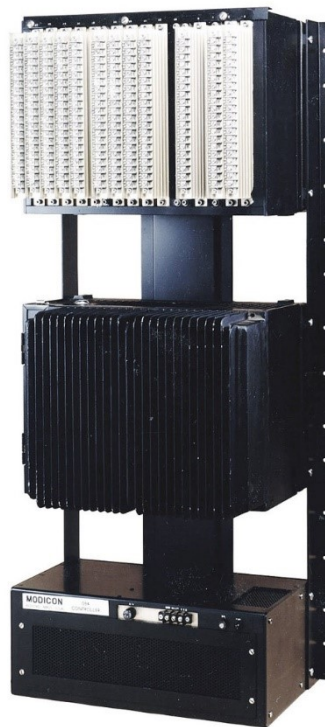
Programovatelné logické automaty (PLC) jsou jedny z nejběžnějších nástrojů pro automatické řízení. Výhodou použití PLC je, že umožňují snadnou a rychlou realizaci řídicích systémů prostřednictvím sestavení ze stavebnicových dílů. Uživatelé nemusí řešit spuštění a spolehlivost, protože komponenty PLC jsou již testovány a spolehlivé. Zbývá "pouze" napsat program ve zvoleném programovacím jazyce. Programy mohou obsahovat i velmi složité řídicí funkce, což je jednodušší než realizace pomocí pevných logických obvodů. Pevná logika znamená realizaci logických a výpočetních funkcí pomocí fixní struktury logických

prvků (v dřívějších generacích se používala relé a stykače, později logické obvody sestavené z diskrétních součástek a následně integrované obvody různými technologiemi a s rostoucí hustotou integrace). V současné době se nejčastěji používají programovatelné logické obvody (i když vnitřní spoje lze měnit pomocí programu, princip realizace zůstává zachován – funkce jsou realizovány pomocí zapojených logických prvků). Tvorba programu není jednoduchá úloha a může zabrat dost času. Programátor by měl mít znalosti teorie a metodiky a ovládat systematický přístup k tvorbě programu. Nesystematický přístup může také vytvořit program, ale často méně spolehlivý, obtížně laditelný a opravitelný, a s mnoha chybami. [1][16][17]

### 2.5.1 Historie PLC

Historie programovatelných automatů sahá do pozdních 60. let a první poloviny 70. let 20. století. Jejich vznik byl inspirován potřebou americké automobilky General Motors, která hledala způsob, jak rychle a efektivně měnit výrobu vozů a související výrobní linky. Do té doby byly používány specializované řídicí systémy s pevnou logikou, které byly časově náročné a nákladné na úpravu. V roce 1968 vznikl požadavek na nový typ řídicího systému, který by byl univerzální a jeho funkce by byly založeny na programu, podobně jako u počítače. [16][17]

První programovatelné automaty začala vyrábět firma Modicon v roce 1969. Tým vedený Richardem Morleyem nazval první programovatelný automat na světě prostě "084" (Obrázek 8). Důvodem bylo, že v roce 1968, kdy byl poprvé představen, se jednalo o 84. projekt, kterým se jejich skupina zabývala. Automat byl vybaven ferritovou pamětí o kapacitě 32 kB, která obsahovala jak operační systém, tak aplikační program. Stejnou kapacitu paměti měl i tehdy běžný sálový počítač IBM 360 model 30. Rozsah řízení "084" činil 256 vstupů/výstupů. Přenosný programovací panel (P101) velikosti kufříku umožňoval nastavení základních funkcí automatu. Tyto automaty byly navrženy tak, aby byly robustní a odolné vůči průmyslovému prostředí. Původně byly označovány jako Programmable Controller (PC), ale později byly přejmenovány na Programmable Logic Controller (PLC), aby nedocházelo ke zmatkům s významem zkratk. V češtině se běžně používá označení programovatelný automat. [16][17][28]



Obrázek 8 Programovatelný automat Modicon 084 [28]

Pro programování PLC byl vytvořen grafický jazyk, který připomínal elektrické reléové schéma. Tento způsob programování se nazývá LD (Ladder Diagram) nebo jazyk kontaktních schémat. Existoval také textový jazyk, podobný assembleru, označovaný jako IL (Instruction List) nebo jazyk mnemokódů.

Pro jednodušší stroje a procesy byly později vyvinuty kompaktní programovatelné automaty. PLC se osvědčily v automobilovém průmyslu a postupně se začaly používat i v jiných oborech, jako je strojírenství, vodárenství nebo ekologické procesy.

Někteří výrobci používají pro novou generaci PLC s výrazně vyššími výpočetními a komunikačními schopnostmi označení Programmable Automation Controller (PAC). V češtině se ale stále častěji používá původní označení PLC i pro tuto kategorii řídicích systémů. [16][17]

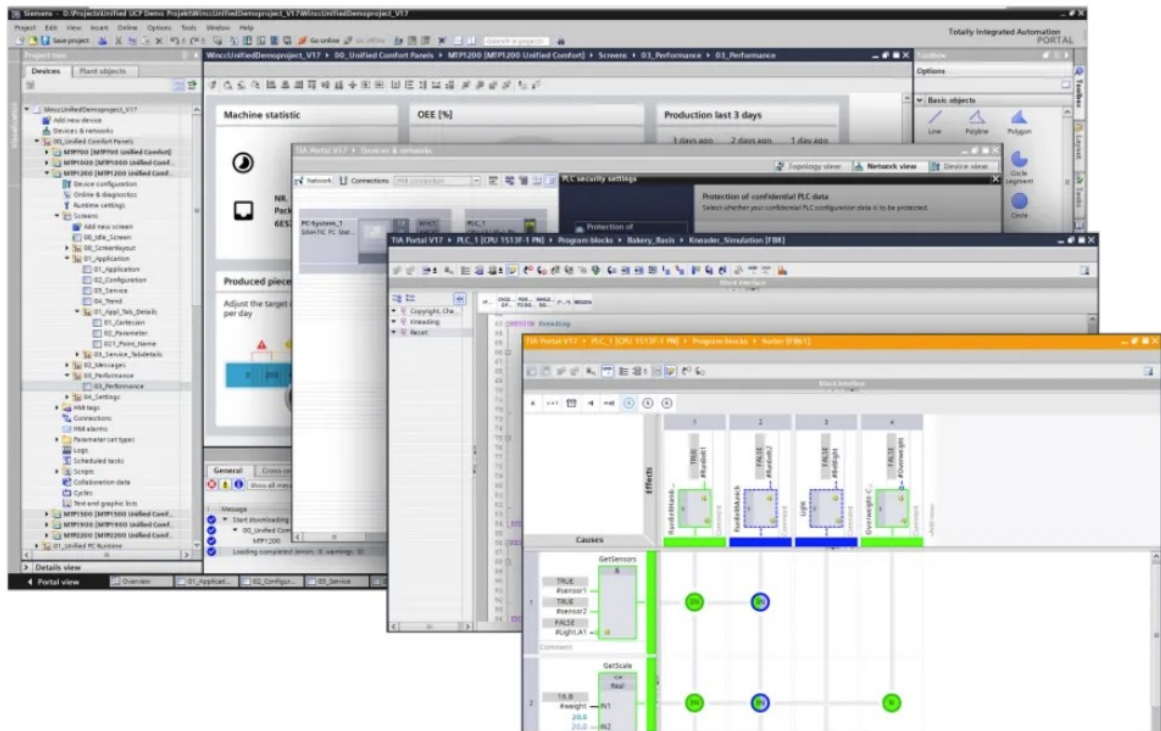
### 2.5.2 Projektování systémů s PLC

Programovatelné automaty jsou konstruovány tak, aby byly odolné a spolehlivé, což zajišťuje jejich schopnost odolávat náročným podmínkám průmyslového prostředí. Splňují přísné požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) jak z hlediska odolnosti vůči rušení, tak i z hlediska minimalizace nežádoucího vyzařování a rušení okolních zařízení. Nicméně není dostačující programovatelný automat "jen tak zapojit". Pro dlouhodobou

spolehlivost a přesnost měření je důležité dodržovat zásady návrhu s PLC. To zahrnuje zejména napájecí zdroje, jejich zálohování bateriemi v případě výpadků a ochranu proti přepětí. Také vstupy PLC je vhodné chránit proti přepětí. Cesty signálových kabelů (vedoucích ke vstupům PLC a k metalickým komunikačním linkám) je třeba vést doporučeným způsobem, aby nebyly v těsné blízkosti silových vodičů. Další zásady platí také pro vedení kabelů počítačových sítí.

Projekt zahrnuje také vytvoření návrhu programu, který se zabývá konfigurací PLC, připojením signálů na vstupy a výstupy, přiřazováním a pojmenováváním odpovídajících proměnných, a především tvorbou uživatelského programu. K tomu účelu se používají programy pro PC, které obsahují sadu nástrojů pro vývoj aplikací PLC, obvykle označovaných jako vývojové systémy. Tyto systémy jsou nezbytné pro každý programovatelný automat (nahradily dřívější programovací přístroje) a jedná se o softwarové produkty, které lze spustit na libovolném počítači s dostatečným výpočetním výkonem, a to i na dálku od místa s PLC. Vývojové systémy ovlivňují komfort a efektivitu práce programátora, což se projevuje na produktivitě dodavatelské firmy a její konkurenceschopnosti. Důležitým aspektem při použití PLC je programování, které se dnes téměř výhradně řídí mezinárodním standardem IEC EN 61131-3. [1][16][17]

V raných dobách PLC byly jako jediná podpora pro aplikace PLC používány programovací přístroje (často v podobě kufru nebo "kalkulačky"), které sloužily pouze k vytváření programů. Až později, zhruba od počátku 90. let 20. století, se začaly nabízet programové systémy pro PC. Nejdříve sloužily jen k vytváření, ladění a dokumentování programů, ale postupem času se jejich funkce rozšiřovaly. Dnes jsou to velmi sofistikované programy pro PC, které poskytují mnoho nástrojů pro zvýšení komfortu při programování, ladění a diagnostice a umožňují realizovat mnohem více než jen program PLC – vytvořit celý projekt řídicího systému. Pojem "programovací prostředí" již nedostačuje k popisu jejich účelu, proto je vhodnější nazývat je "vývojovým systémem". Jedním z takovýchto systémů je například TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) od společnosti Siemens (Obrázek 9). [16][17][29]



Obrázek 9. Programové prostředí TIA Portal od společnosti Siemens [29]

Pokročilé vývojové systémy řeší celou řadu úkolů, jako je volba typu a konfigurace PLC, popis vstupů a výstupů na základním i rozšiřujícím modulu a na modulech vzdálených vstupů a výstupů, spojení fyzických vstupů a výstupů (svorek) s názvy proměnných programu. Je také nutné popsat distribuovaný řídicí systém sestavený z několika PLC, jejich topologickou strukturu a komunikační vazby mezi nimi.[16][17][29]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ

Návrh se zaměřuje na pracoviště pro provádění izolační zkoušky mezi sekcemi vinutí a mezi sekundárními vinutími přístrojových transformátorů. Toto pracoviště je součástí výstupní zkušebny ve firmě ABB s.r.o. Cílem tohoto návrhu je zvýšit efektivitu, přesnost a bezpečnost tohoto procesu, který je v současné době prováděn manuálně pracovníkem zkušebny. Robotizace této činnosti má potenciál snížit chybovost, zrychlit zkoušky a zlepšit celkovou produktivitu zkušebního procesu. Vzhledem k nenáročnosti této zkoušky se budou moci kvalifikovaní pracovníci (kterých je v současnosti na trhu práce nedostatek) věnovat složitějším úkonům a testům, což povede k efektivnějšímu využití lidských zdrojů.

#### 3.1 Popis stávajícího pracoviště

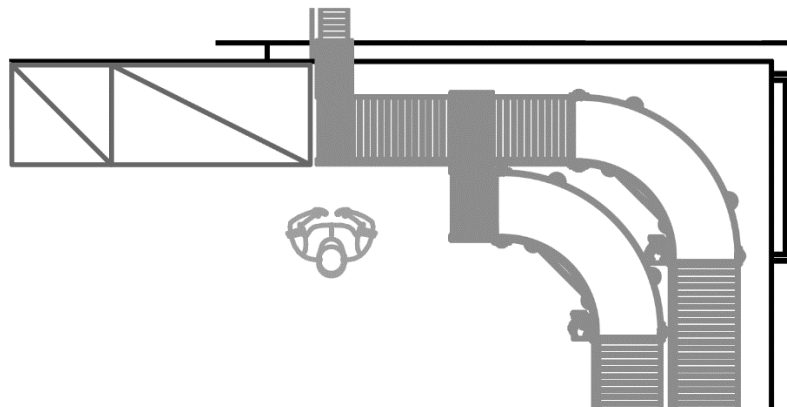
Pracoviště se nachází na vstupní části zkušebny za konečnou montáží, kde jsou dokončeny poslední kroky výrobního procesu transformátoru. Transformátory vstupují na zkušebnu po válečkovém dopravníku opatřeném optickými čidly napojenými na PLC, které zajišťuje systém řízení logistiky celého pracoviště zkušebny. Pracoviště je vybaveno vysokonapěťovým zdrojem pro provádění zkoušky a několika ovládacími a bezpečnostními prvky válečkového dopravníku.



Obrázek 10. Pracoviště pro provádění izolační zkoušky 3kV

### 3.1.1 Dispozice stávajícího pracoviště

Pracovník zkušebny stojí během zkoušky přímo před vstupní částí válečkového dopravníku. Po levé straně se nachází policový regál o rozměrech 100x75x200 cm (š, h, v) ve kterém je umístěn zkušební zdroj vysokého napětí. Po pravé straně se stáčí válečkový dopravník dále na zkušebnu, kde probíhají další výstupní testy. Pracovník má kolem sebe dostatek místa k pohybu a pro manipulaci s testovacími pistolemi.



Obrázek 11. Dispozice stávajícího pracoviště

### 3.1.2 Technické vybavení

Kromě válečkového dopravníku realizovaného firmou TMT a.s. Chrudim je pracoviště vybaveno testovacím zdrojem vysokého napětí HT 5053 od výrobce TESLA ELMI, a.s. Zdroj HT 5053 je určen pro zkoušky bezpečnosti a elektrické pevnosti síťových částí měřících a zdravotnických přístrojů, počítačové techniky a spotřební elektroniky střídavým napětím průmyslové frekvence s nízkým zkreslením.



Obrázek 12. Testovací zdroj vysokého napětí TESLA HT 5053

Výstupní napětí zdroje je střídavé, o síťové frekvenci plovoucí vůči zemi. Je nastavitelné plynule v rozsahu 100 V až 5 kV a jeho skutečná velikost je měřena vestavěným kilovoltmetrem. Velikost prosakujícího proudu je rovněž měřena vestavěným miliampérmetrem v rozsahu 0 až 25 mA. Překročení proudu 25 mA je indikováno opticky a akusticky. Nadproudová pojistka zdroje je nastavena na hodnotu 25 mA, a to se zpožděním cca 2 s. Zdroj je vybaven časovačem, který umožňuje naprogramovat dobu zkoušky v rozsahu 1 až 99 s krokem 1 s. Dále je zdroj vybaven plynulým náběhem se dvěma nastavitelnými rychlostmi náběhu. V automatickém režimu činnosti (AUT) se po zapnutí výstupní napětí plynule zvětšuje až na přednastavenou hodnotu. Po dosažení této úrovně se automaticky zapne časovač. Po doběhnutí časovače pak dochází k plynulému snižování výstupního napětí až k nule. V tomto okamžiku dojde k odpojení zdroje. V režimu ručního ovládání (MAN) veškerou činnost zdroje (zapnutí, ruční nastavení napětí, vypnutí) zajišťuje obsluha.

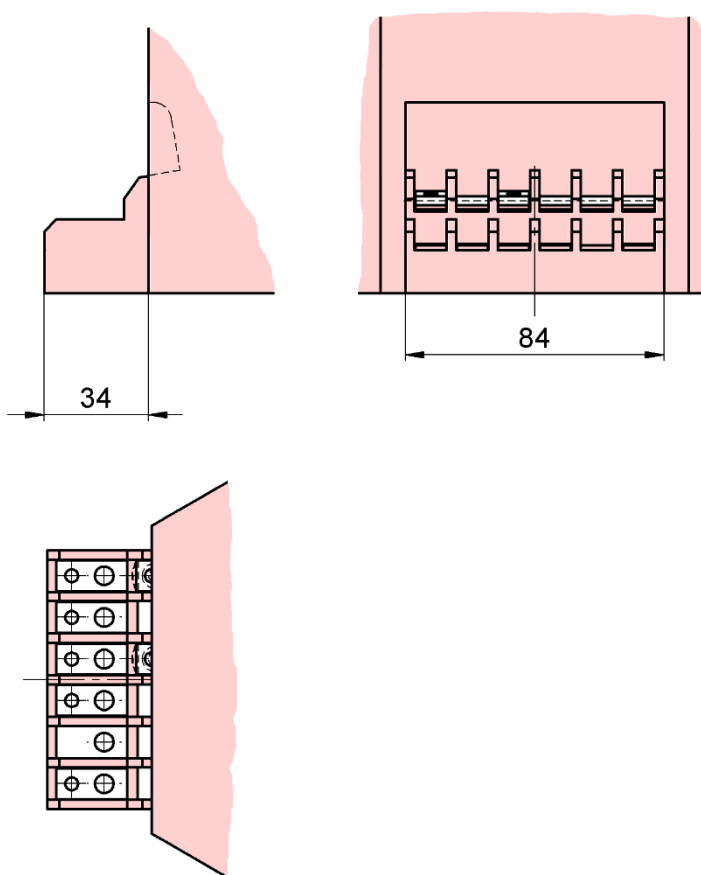
Tabulka 1. Technické údaje testovacího zdroje vysokého napětí Tesla HT 5053

Rozsah výstupního napětí	100 V – 5 kV / 50 Hz
Jmenovitý výstupní proud	0 – 25 mA
Zkratový výstupní proud	200 mA
Rozsahy měření napětí	0 – 2 kV; 0 – 6 kV
Přesnost měření napětí	±2%
Rozsah měření proudu	0 – 25 mA
Přesnost měření proudu	±3%
Stabilita výstupního napětí	$2 \cdot 10^{-3}$
Doba náběhu a doběhu - automatický režim	1 s; 5 s
Doba náběhu a doběhu - man. režim – knoflíkem regulátoru	Libovolná rychlost
Doba náběhu a doběhu - man. režim – tlačítkem	Maximální rychlost
Rozsah nastavení časovače	1 až 99 s
Krok nastavení časovače	1 s
Úroveň signalizace mezního proudu (průrazu)	25 mA

Umožňuje provádět zkoušky v souladu s normami: ČSN IEC 60 - 1, ČSN EN 60335 - 1, DIN VDE 0701, DIN VDE 0720, DIN VDE 0730, DIN VDE 0411, DIN VDE 0104

### 3.1.3 Popis měřeného transformátoru

Pro účely robotizace je na přístrojový transformátor pohlíženo hlavně jako na objekt určitého tvaru s určitými rozměry a s určitou hmotností. Vzhledem k velkým rozdílům těchto parametrů v rámci typů zkoušených přístrojových transformátorů nebylo možné určit obecného zástupce. Společným rysem pro všechny typy zkoušené na tomto pracovišti jsou však tvar a rozměry sekundární svorkovnice.



Obrázek 13. Nákres sekundární svorkovnice přístrojového transformátoru

Veškerý návrh řešení se tedy zaměřil na tento fakt a ostatní parametry byly zanedbány.

### 3.1.4 Současný postup provádění izolační zkoušky 3kV

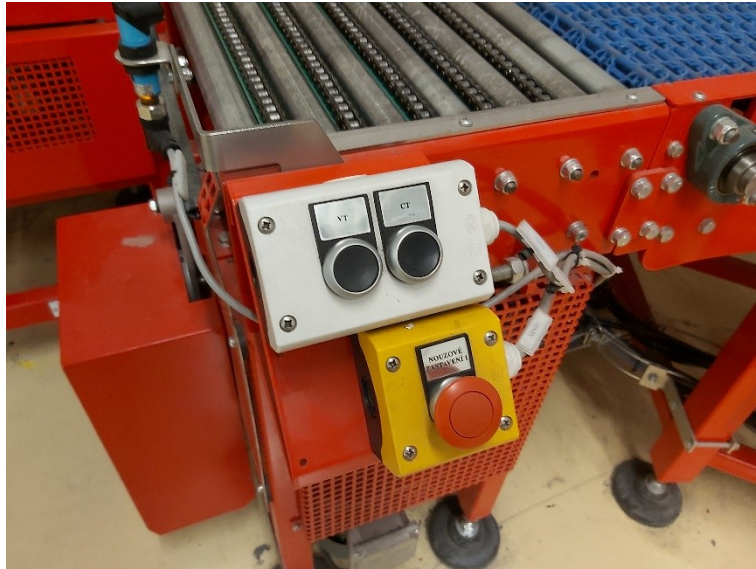
Po příjezdu po válečkovém dopravníku na zkušebnu, sepne transformátor optické čidlo a rotace válečků dopravníku se tím zastaví. Transformátor se nyní nachází v pozici přímo před pracovníkem zkušebny a je tak připraven k provedení zkoušky. Pracovník zkušebny zapne

vysokonapěťový zdroj, nastaví testovací parametry a uchopí vysokonapěťové testovací pistole. Hroty testovacích pistolí postupně přikládá na jednotlivé svorky transformátoru (Obrázek 147) a provádí izolační zkoušku vzájemně mezi všemi sekundárními vinutími a zemí dle předepsaných parametrů a po předepsanou dobu.



Obrázek 14. Přikládání testovacích pistolí na svorky transformátoru

Po dokončení zkoušky mezi všemi stanovenými částmi transformátoru stiskne pracovník tlačítko na ovládacím panelu válečkového dopravníku (Obrázek 158) (VT pro přístrojový transformátor napětí a CT pro přístrojový transformátor proudu), čímž odešle transformátor k dalšímu měření a testování.



Obrázek 15. Ovládací panel válečkového dopravníku

Po odjezdu transformátoru dojde k rozeptnutí optického čidla a do testovací pozice je tak dopraven další transformátor z konečné montáže.

Celý proces se neustále opakuje, dokud nejsou vyzkoušeny všechny transformátory přijíždějící z konečné montáže, nebo dokud není zaplněna část válečkového dopravníku za tímto pracovištěm a dalším pracovištěm zkušebny. Po dosažení jednoho z těchto stavů odkládá pracovník testovací pistole do příslušného držáku, vypíná vysokonapěťový zdroj a odchází provádět další testy a zkoušky v rámci zkušebny.

## 3.2 Návrh nového pracoviště

Pro návrh nového pracoviště byly nejprve identifikovány jednotlivé části procesu z pohledu automatizace (rozdělení celého procesu na úlohy pohybové, měřicí, informační atd.) a následně byly stanoveny základní požadavky, které by mělo nové pracoviště splňovat.

### 3.2.1 Identifikace jednotlivých částí procesu z pohledu automatizace

Během zkoumání procesu provádění izolační zkoušky byly identifikovány tyto typy úloh:

- Pohybová úloha – postupné propojení všech sekundárních svorek a základové desky transformátoru s testovacím zdrojem vysokého napětí.
- Kontrolní úloha – provedení izolační zkoušky testovacím zdrojem vysokého napětí.
- Informační úloha – bez přítomnosti pracovníka zkušebny je nutné získat informaci o konfiguraci zapojení jednotlivých jader do sekundární svorkovnice a následně zaznamenat výsledek zkoušky zpět do informačního systému.

- Logistická úloha – odeslání vyzkoušeného transformátoru dále na zkušebnu a uvolnění testovací pozice pro další transformátor.

### 3.2.2 Stanovení požadavků na nové pracoviště

Pro návrh nového pracoviště byly stanoveny tyto požadavky:

- Pracoviště by mělo být plně automatizované bez jakékoli nutnosti zásahu člověka v průběhu zkoušky.
- Zkoušení by mělo probíhat dostatečně rychle aby nedošlo k narušení taktu výroby.
- Všechny předpisy a normy kterým zkouška podléhá musí být dodrženy.
- Instalace nového řešení by se mělo obejít bez větších zásahů do stávajícího vybavení zkušebny.
- Vzhledem k dispozicím zkušebny by navrhované pracoviště nemělo zabírat větší plochu než pracoviště stávající.

### 3.2.3 Výběr/návrh efektoru

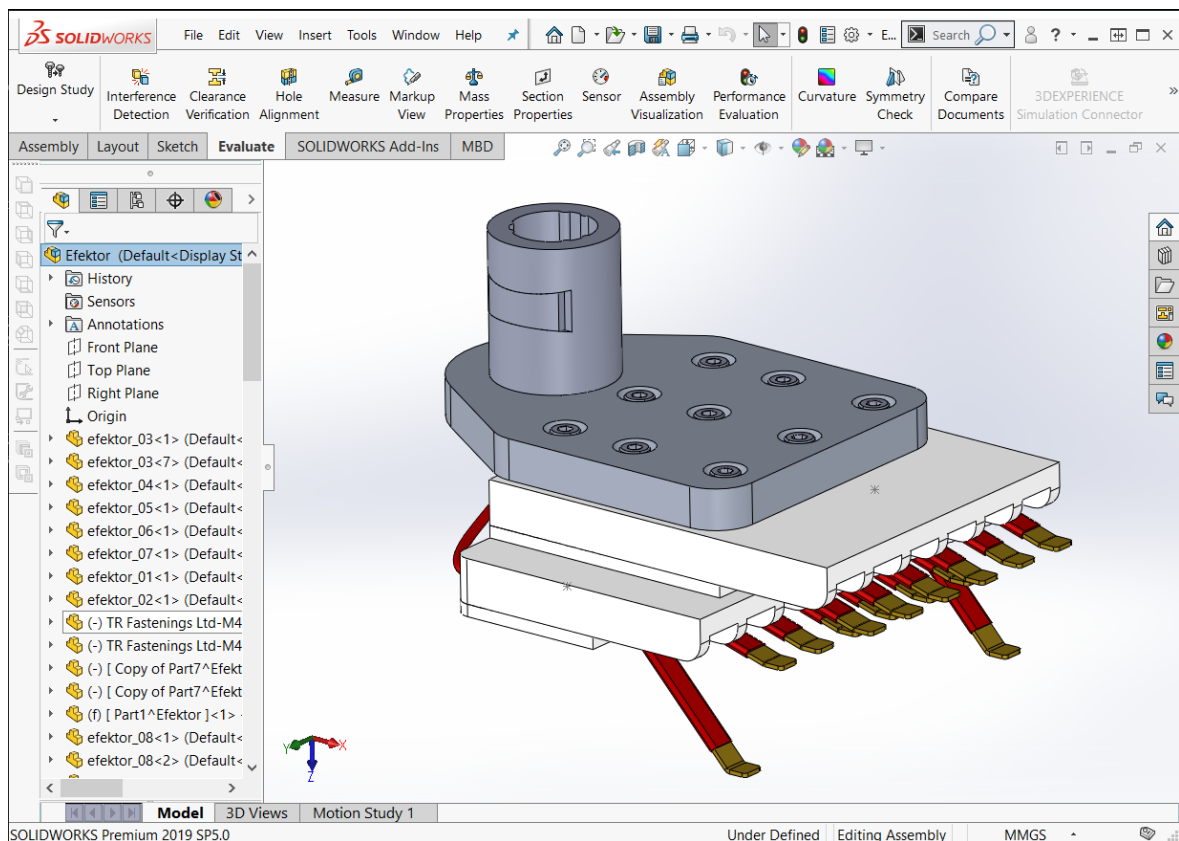
Vzhledem k povaze této úlohy byl vytvořen nejdříve základní návrh efektoru. Vhodný tvar a funkčnost tohoto efektoru totiž blíže specifikovala požadavky na vlastnosti zvoleného robotu. Po výběru robotu byl návrh efektoru znovu upraven, aby bylo možné efektor ke konkrétnímu robotu připojit.

Jak již bylo řečeno, byl pro tuto práci navržen vlastní efektor. Vyráběný přístrojový transformátor je svými vlastnostmi jedinečný a na trhu není možné nalézt běžně dostupné řešení, které by vyhovovalo jeho specifickým potřebám. Z tohoto důvodu je nezbytné navrhnout a vytvořit řešení na míru, které bude přizpůsobeno jeho ojedinělým charakteristikám. Jedná se konkrétně o tvar sekundární svorkovnice na jejíž kontakty je nutno zkušební vysokonapěťový zdroj připojovat.

Na základě charakteru zkoumaného procesu bylo rozhodnuto, že bude zachován dosavadní postup připojování testovacího nástroje k „ležícímu“ transformátoru a nebude tedy manipulováno s transformátorem samotným. Výhodami tohoto postupu jsou mnohem menší nároky na zvolený robot, jelikož hmotnost manipulovaného břemene (jímž bude pouze efektor) je mnohem menší, ale hlavně konstantní. Z kinematického hlediska se také ukázalo být výhodou připojení všech kontaktů sekundární svorkovnice najednou a různé kombinace propojení pak vyřešit za pomoci elektronických součástek. Nejen pohybová úloha, ale i konstrukce samotného efektoru tak byla podstatně jednodušší.



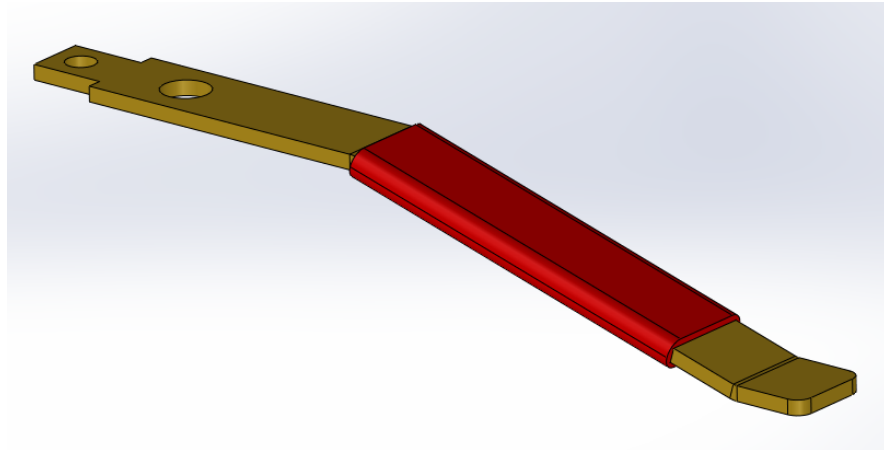
Pro návrh efektoru byl využit 3D CAD software SolidWorks od společnosti Dassault Systemes. Navržený 3D model efektoru posloužil nejen k vytvoření programu a simulace v programu ABB RobotStudio, ale může být i cenným podkladem k případnému zadání výroby tohoto efektoru některou z firem, jež se výrobou efektorů zabývají, ale nejsou dosud s problematikou této technologie seznámeny.



Obrázek 16. 3D model navrženého efektoru v programovém prostředí SolidWorks

Základním podkladem pro návrh efektoru byla přesná technická dokumentace přístrojového transformátoru, především tvar a rozměry sekundární svorkovnice která je u všech typů na tomto pracovišti zkoušených transformátorů stejná.

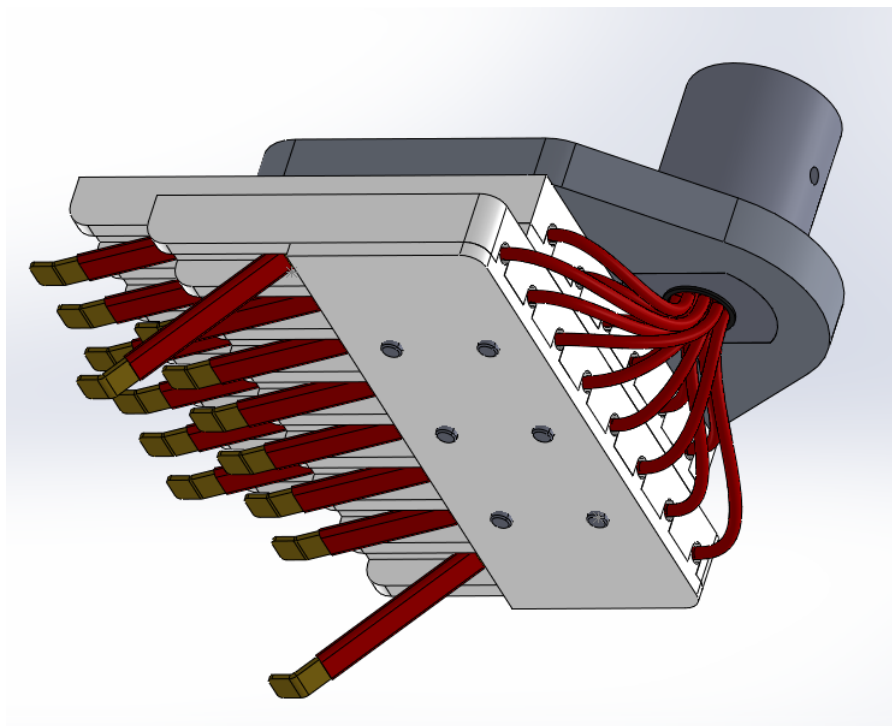
Pro připojení efektoru k sekundárním svorkám transformátoru byly navrženy pružné kontakty, vyrobené z mosazi (Obrázek 17). Vlastnosti mosazi jsou výhodné nejen z hlediska mechanické pružnosti, ale také z hlediska elektrické vodivosti a korozní odolnosti, což zaručí malý přechodový odpor v místě kontaktu se sekundární svorkou transformátoru.



Obrázek 17. Pružný kontakt efektoru

Tělo kontaktu je mimo kontaktní plochu potaženo izolační bužírkou. Toto řešení sníží riziko kontaktu s cizím předmětem a přeskočení náboje.

Pro výrobu těla efektoru bude vhodné použít plast s dobrou mechanickou tuhostí, rozměrovou stálostí a s dobrými izolačními vlastnostmi, aby nedošlo ke zkratovému přeskočení mezi jednotlivými kontakty uvnitř efektoru. Ze zadní části efektoru jsou vyvedeny vodiče, které prochází dutou osou robotu.



Obrázek 18. Pohled na zadní část efektoru a vodiče

### 3.2.4 Výběr robotu/manipulátoru

Informace získané podrobnou analýzou stávajícího pracoviště a předběžným návrhem efektoru tvoří dostatečný podklad pro výběr vhodného robotu. Tímto robotem se stal IRB 920T.

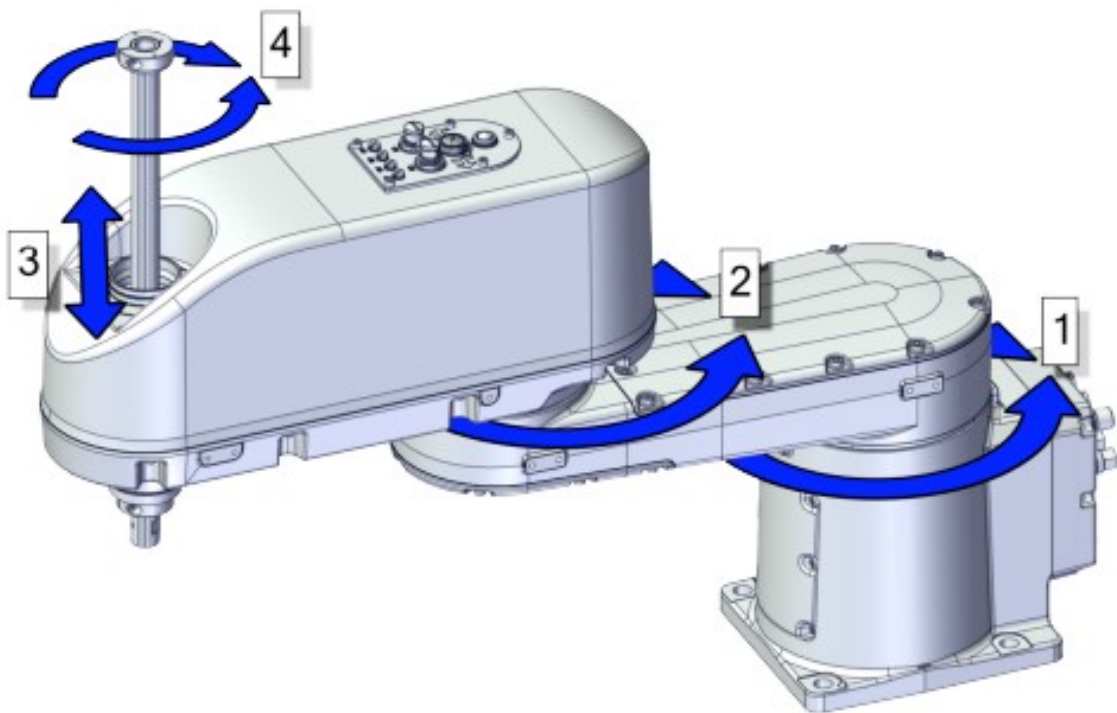


Obrázek 19. Průmyslový robot typu SCARA IRB 920T [30]

IRB 920T je robot typu SCARA od společnosti ABB Robotics se 4 osami (Obrázek 20) a jmenovitým užitečným zatížením 3 kg (maximální užitečné zatížení 6 kg) ve třech různých variantách dosahu - 0,45 m, 0,55 m a 0,65 m. Pro tento návrh byla zvolena varianta 0,45 m. Vzhledem k poloze zkoušeného transformátoru není potřebné orientovat robota kolem horizontálních os. Nosnost robotu Díky faktu, že bude robot manipulovat pouze s malým a lehkým efektem, je jeho užitečné zatížení dostačující. Velikost a tvar pracovního prostoru byla ověřena v programu RobotStudio. Opakovatelnost a rychlost robotu je plně dostačující.

Tabulka 2. Základní parametry robotu IRB 920T

Počet os	4
Užitečné zatížení	6 kg
Opakovatelnost polohy	0,01 mm
Opakovatelnost dráhy	0,03 mm
Maximální dosah	0,45 m
Hmotnost robotu (bez efektoru)	22 kg



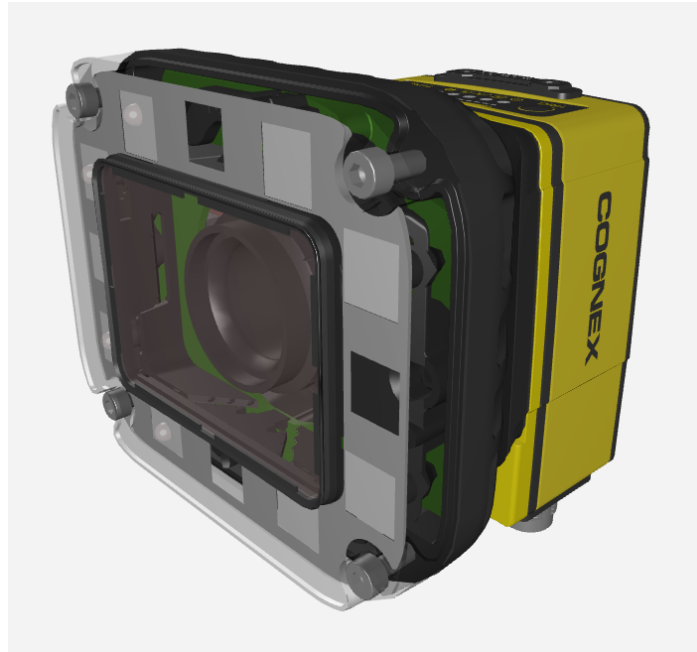
Obrázek 20. Konfigurace os robotu IRB 920T [30]

Nezanedbatelnou výhodou zvoleného manipulátoru je jeho nízká hmotnost, díky které jej lze upevnit na zpevněný pracovní stůl, aniž by byla nezbytná úprava podlahy v podobě jejího vyztužení, jak tomu bývá u větších a hmotnějších průmyslových robotů.

### 3.2.5 Výběr snímacího zařízení

Pro snímání polohy přístrojového transformátoru na válečkovém dopravníku byl zvolen systém od společnosti COGNEX. Jedná se o komplexní řešení, které je optimalizováno přímo pro využití v průmyslovém prostředí a má plnou podporu integrace s průmyslovými roboty ABB a řídicím systémem OmniCore.

Jako snímač byla zvolena monochromatická kamera In-Sight 7600 s rozlišením 0,5 MP (SVGA). Tato kamera spolu se zvoleným objektivem Fujinon s ohniskovou vzdáleností 25 mm poskytne vzhledem ke vzdálenosti od zaměřovaného objektu (800 mm) zorné pole (FOV) o velikosti 100 x 75 mm a rozlišení 8 pixelů na 1 mm. Tyto parametry jsou pro potřebnou přesnost polohování efektoru plně dostačující. Dále je kamera vybavena integrovaným infračerveným přísvitem a optickým filtrem.



Obrázek 21. Průmyslová kamera In-Sight řady 7000 od společnosti COGNEX [27]

Pro ovládání tohoto systému bylo vybráno HMI VISIONVIEW 900 s 9 palcovým dotykovým displejem. Tento panel zajišťuje veškeré nastavení a monitoring celého procesu snímání včetně zasílání polohových korekcí do robotu. Plně tak nahrazuje průmyslový počítač, který by byl jinak pro zpracování obrazu nezbytný.



Obrázek 22. HMI VISIONVIEW 900 od společnosti COGNEX [27]

### 3.2.6 Výběr měřícího přístroje

Původní testovací zdroj vysokého napětí není vzhledem k manuálnímu ovládání vhodný pro integraci do robotizovaného pracoviště. Bylo tedy nutné nalézt náhradu disponující datovým vstupem, přes který by bylo možné, jak měnit nastavení testovacího zdroje, tak přímo spouštět proces izolační zkoušky. Na základě těchto požadavků byl vybrán Hipot Tester, konkrétně model 298 od výrobce SCI.



Obrázek 23. Vysokonapěťový testovací zdroj Hipot Tester 298 od firmy SCI [31]

Tento zdroj přímo disponuje analogovým rozhraním pro komunikaci s PLC. Jeho podrobné parametry popisuje následující tabulka:

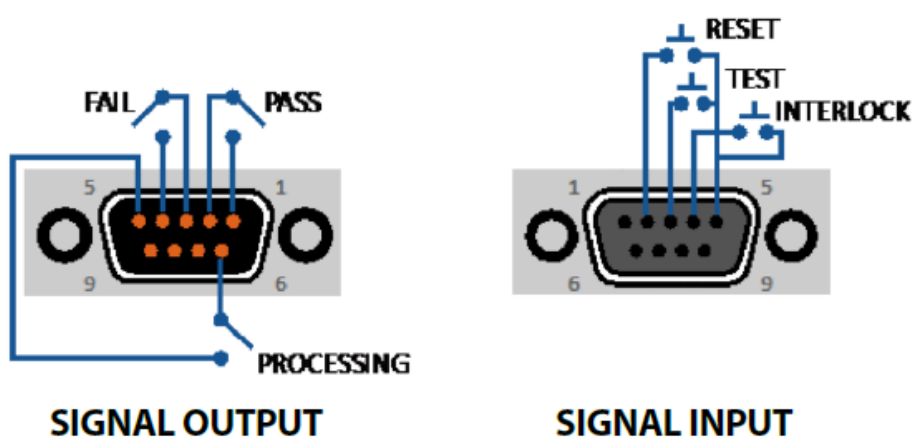
Tabulka 3. Technické údaje testovacího zdroje vysokého napětí SCI 298 [31]

Rozsah výstupního napětí	0 – 5 kV
Jmenovitý výstupní proud	0 – 100 mA
Výstupní frekvence	50, 60 Hz
Doba náběhu a doběhu	0,2 -s180 s
Rozsah nastavení časovače	0,2 - 60 s
Krok nastavení časovače	0,1 s

Po provedení testu se na displeji předního panelu zobrazí výsledky testu. Pokud test proběhne úspěšně, ozve se krátké zvukové znamení a na displeji se zobrazí výsledek testu. Pokud dojde k selhání, uslyšíte dlouhý zvukový signál a rozsvítí se červený blikající indikátor. Chcete-li alarm zastavit, stiskněte tlačítko RESET. Výsledky testů z provedených měření lze v paměti prohlížet otáčením otočného knoflíku doleva nebo doprava. Po sobě jdoucím otáčením knoflíku se bude pokračovat k dalšímu výsledku. Za výsledky posledního kroku

procesu bude následovat tzv. první krok. Výsledky lze kdykoli zkontrolovat před provedením dalšího testu. Všechny výsledky jsou vymazány na začátku dalšího testovacího cyklu.

Na zadním panelu jsou umístěny dva devítipinové konektory typu "D", které umožňují ovládnání a informace o výsledku zkoušky. Tyto konektory se spojují se standardním devítipinovým miniaturním konektorem typu D. Výstup se připojuje ke konektoru typu samec (zástrčka), zatímco vstup se připojuje ke konektoru typu samice (zásuvka). Pro dosažení nejlepšího výkonu je třeba použít stíněný kabel. Aby se zabránilo zemním smyčkám, nemělo by být stínění uzemněno na obou koncích kabelu.



Obrázek 24. Rozdělení pinů REMOTE I/O [31]

Jedná se o normálně otevřené volné kontakty, které nepřenášejí žádné napětí ani proud. Jmenovité hodnoty kontaktů jsou 1 AAC/250 VAC (0,5 ADC). Když se některá svorka stane aktivní, relé sepne, čímž umožní externímu napětí ovládat externí zařízení.

Když je zapnutý režim PLC Remote, bude tester reagovat na jednoduché sepnutí spínacích nebo reléových kontaktů. Když je funkce PLC Remote zapnutá, tlačítko TEST na předním panelu je vypnuté.

Tabulka 4. Tabulka I/O signálů testovacího zdroje SCI 298 [31]

	Signál	Piny	Popis
Výstup	Pass	1 a 2	Po zjištění, že testované zařízení prošlo všemi testy, se kontakt relé sepne. Spojení se rozezne po spuštění dalšího testu nebo po aktivaci funkce resetování.
	Fail	3 a 4	Kontakt relé sepne po zjištění, že testované zařízení neprošlo žádným testem. Spojení se rozezne po spuštění dalšího testu nebo aktivaci funkce resetování.
	Processing	5 a 6	Kontakt relé sepne, když tester provádí test. Po skončení testu se kontakt rozezne.
Vstup	Test	3 a 5	Na vývody 3 a 5 lze zapojit normální spínač, který pak umožňuje dálkové ovládání funkce TEST.
	Reset	2 a 5	Přes vývody 2 a 5 lze zapojit normální spínač, který umožňuje dálkové ovládání funkce RESET. Z bezpečnostních důvodů zůstává tlačítko RESET na předním panelu aktivní, i když je připojen dálkový resetovací spínač, takže vysoké napětí lze vypnout z kteréhokoli místa.
	Interlock	4 a 5	Dálkové blokování využívá sadu sepnutých kontaktů pro aktivaci výstupu testeru. Výstup testeru bude deaktivován za následujících podmínek: Pokud jsou kontakty blokování rozeznuty a je stisknuto tlačítko TEST. Pokud jsou kontakty blokování během testu rozeznuty (test se automaticky přeruší).  Testovací zdroj lze používat i bez externího blokovacího zařízení, pokud je konektor blokování (P/N # 99-10040-01 dodaný s jednotkou) zapojen do portu dálkového rozhraní, vstup signálu. Pokud není k portu Remote Interface, Signal Input (Vzdálené rozhraní, vstup signálu) připojeno nic, co by zajišťovalo spojení s blokováním, tester nebude provádět testy.



### 3.2.7 Výběr doplňkových komponent

Pro úspěšný chod robotizovaného pracoviště bylo nutné návrh doplnit ještě o několik nezbytných komponent. Jednou z nich bylo relé pro spínání obvodu mezi kontakty koncového efektoru a vývody vysokonapěťového zkušebního zdroje. Jelikož napětí v obvodu může dosahovat až 5 kV, bylo třeba zvolit speciální vysokonapěťové relé. Pro průmyslové použití jsou požadavky na kvalitu přepínacích kontaktů extrémně vysoké a musí být také zachována dlouhá životnost.

Pro tento účel bylo zvoleno vysokonapěťové relé RL 21 od společnosti SPS electronic, jehož parametry danému úkolu vyhovují. Relé RL 21 může přepínat napětí až do 6 kV AC v kombinaci s vysokými proudy.



Obrázek 25. Vysokonapěťové relé RL 21 od výrobce SPS electronic [32]

Tabulka 5. Technické parametry vysokonapěťového relé RL 21

Kontakty	1 přepínací
Cívka	24V DC/ 0,2 A
Zkušební napětí kontakt/cívka	20 kV DC
Spínané napětí max.	6 kV AC

Tato relé mohou být kombinována ve zkušebních systémech pro přepínání mezi bezpečnostními a funkčními testy různých elektrotechnických výrobků.

Pro propojení těchto relé s kontakty efektoru je nutné použít kabely s dostatečným stupněm izolace. Společnost SOS electronic nabízí i takovéto vodiče. Vybrán byl kabel s označením HK 10-f. Jeho vnější průměr s izolací činí 2,3 mm, což umožňuje svazek 14 těchto kabelů protáhnout dutou osou robotu i s použitím dodatečné kabelové ochrany, která zvýší mechanickou odolnost celého svazku a zlepší izolační vlastnosti. Maximální napětí pro tento kabel je 6 kVAC a maximální proud 10 A.

K připojení vysokonapěťových vodičů efektoru k reléové skříni byl vybrán vysokonapěťový konektor řady 22 také od společnosti SPS electronic. Jsou vhodné pro vnitřní použití v rozváděči i pro použití v přípojkách zařízení. Tyto vysokonapěťové konektory jsou k dispozici v různých verzích a lze je vybavit individuálně dle potřeby.



Obrázek 26. Vysokonapěťový konektor řady 22 od společnosti SPS electronic [32]

Jedná se o vícepólové samostatně montovatelné konektory pro napětí až 10 kV a proudy až 30 A.

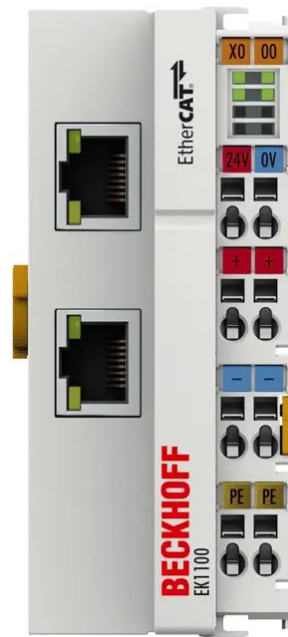
Pro řízení chodu a zabezpečení celého pracoviště bylo vybráno IPC značky Beckhoff. I když téměř každý výrobce IPC je schopen splnit dané požadavky navrhovaného pracoviště, bylo zde přihlédnuto také k již velkému zastoupení značky Beckhoff jinde ve výrobě, což zaručuje snazší úpravy nastavení a řešení případných závad díky již existující podpoře. Na základě požadavků navrhovaného pracoviště byla zvolena tato konfigurace:

- C6015-0010 | Ultra-compact industrial PC – průmyslové PC umožní jednodušší nastavení v přívětivém prostředí s možností připojení standardního monitoru, klávesnice a myši a zároveň poskytne lepší HW základ pro aplikaci, která bude komunikovat s databázovým systémem než samotné PLC. Disponuje dvěma rozhraními Ethernet pro připojení modulu I/O karet, LAN a kontroléru robotu.



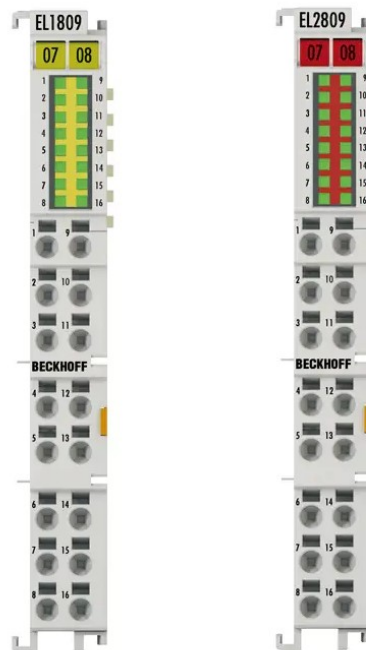
Obrázek 27. C6015-0010 - Ultra-compact industrial PC [33]

- EK1100 | EtherCAT Coupler – je spojovacím článkem mezi protokolem EtherCAT na úrovni sběrnice a terminály EtherCAT. Spojka převádí procházející telegramy z Ethernetu 100BASE-TX na reprezentaci signálu sběrnice E-bus. Stanice se skládá z coupleru a libovolného počtu terminálů EtherCAT, které jsou automaticky detekovány a jednotlivě zobrazeny v obrazu procesu.



Obrázek 28. EK1100 – EtherCAT Coupler [33]

- EL6070 | EtherCAT Terminal – licenční HW klíč pro inicializaci I/O karet v programovém prostředí TwinCAT 3.1.
- EL1809 | EtherCAT Terminal – karta pro připojení 16 digitálních vstupů.
- EL2809 | EtherCAT Terminal – karta pro připojení 16 digitálních výstupů.



Obrázek 29. EL1809 – EtherCAT Terminal (vlevo) EL2809 – EtherCAT Terminal (vpravo) [33]

- EL9011 | Bus end cover for E-bus contacts – terminátor sériové sběrnice I/O a dalších rozšiřujících karet.
- NDR-240-24 Mean Well – napájecí zdroj pro PLC

Pro zajištění bezpečnosti robotizovaného pracoviště je také nutné opatřit veškeré vstupy a výstupy proti vstupu člověka, nebo jiného cizího tělesa, které by mohlo způsobit kolizi s robotem. Vhodným prostředkem mohou být světelné závory, které je možné při průchodu materiálu (v tomto případě zkoušeného transformátoru) deaktivovat, nebo nastavit maximální velikost vstupního materiálu.

Pro tento účel byla zvoleny vícepráskové bezpečnostní světelné mříže M4000 Advanced od společnosti SICK. Ty poskytují nejen dostatečnou ochranu proti narušení zabezpečeného prostoru, ale také disponují funkcí Muting, která po její aktivaci řídicím signálem umožní vstup/výstup materiálu z tohoto prostoru, aniž by došlo k nouzovému zastavení procesu vlivem přerušení světelné závory.



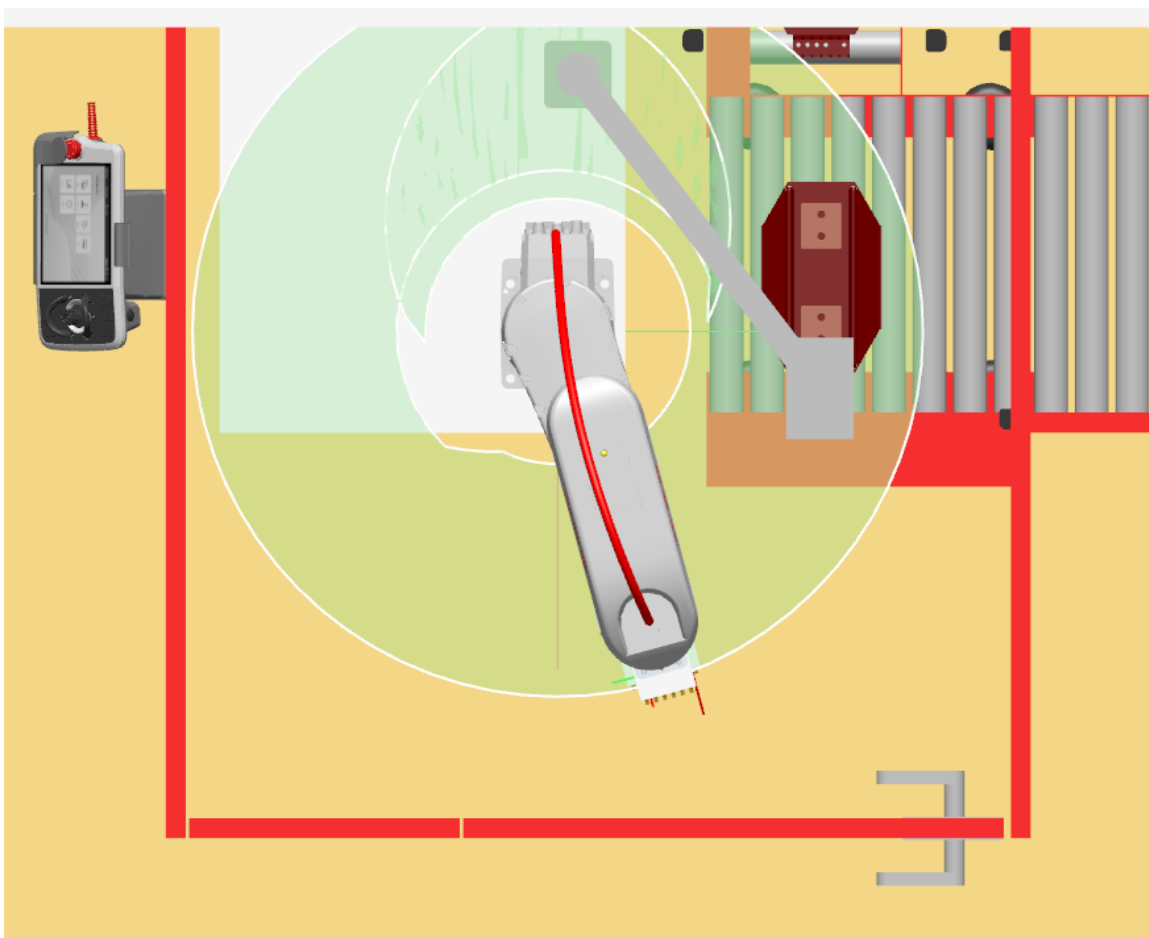
Obrázek 30. Vícepráskové bezpečnostní světelné mříže M4000 Advanced od společnosti SICK [34]

Dalšími nutnými doplňky zajišťujícími bezpečnost je bezpečnostní zámek dveří doplněný o resetovací tlačítko, kterým se po opuštění zabezpečeného prostoru a zavření dveří potvrdí zabezpečený stav prostoru, a umožní se tak opětovně zpuštění automatického režimu robotu.

Těchto bezpečnostních prvků nabízí firma SICK celou řadu, a je třeba je volit podle na základě konstrukčního řešení dveří zajišťujících dané pracoviště.

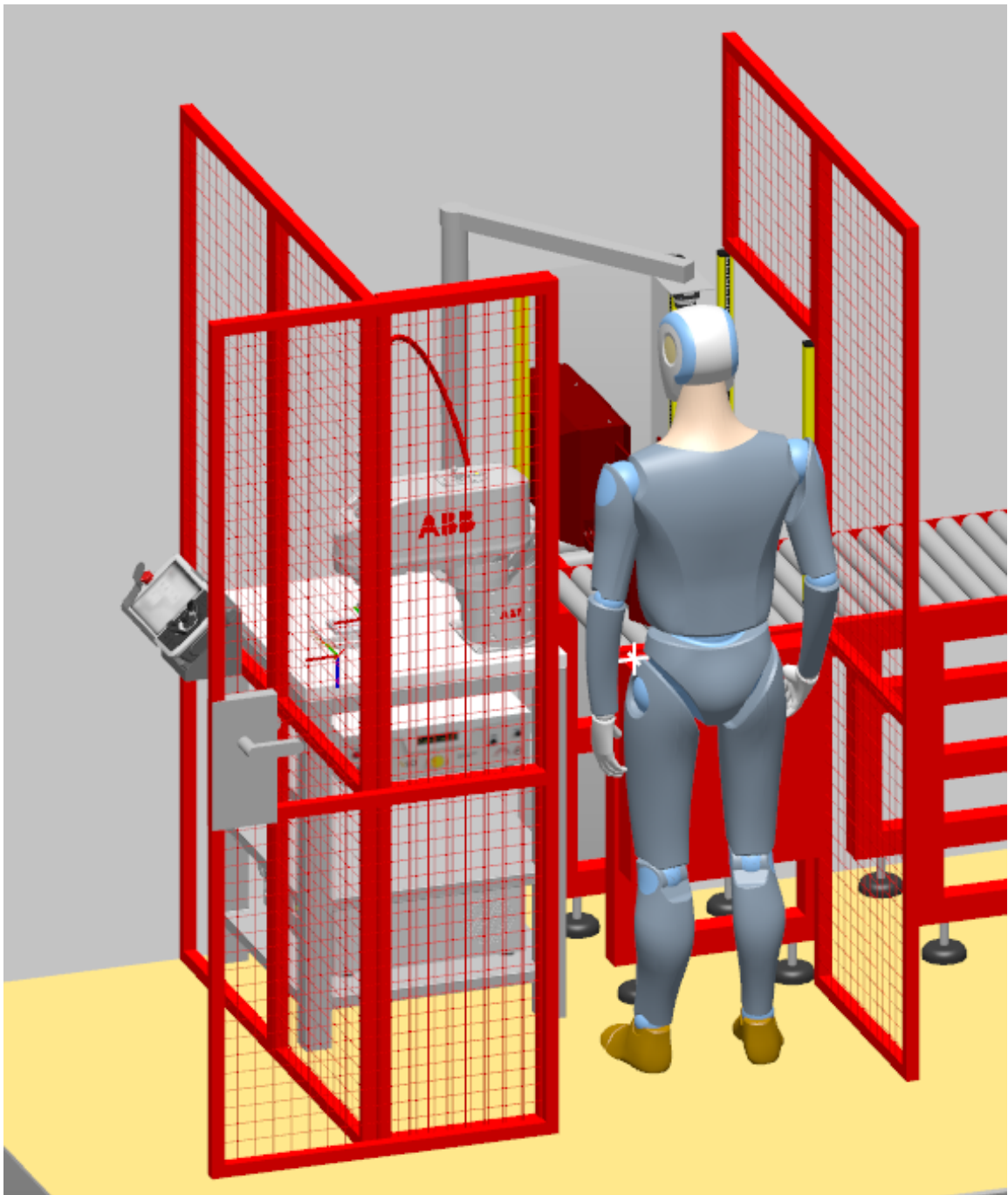
### 3.2.8 Návrh dispozice robotizovaného pracoviště

Při návrhu nového robotizovaného pracoviště byl brán v potaz zejména tvar a velikost pracovního prostoru robotu včetně koncového efektoru. Při vytvoření klece, která ohraničuje zabezpečený prostor pracoviště by tak nemělo v žádné poloze robotu, respektive koncového efektoru dojít ke kolizi s touto klecí. Přesto finální zastavěná plocha zabrala pouhých 1,56 m<sup>2</sup> (1,2 x 1,3 m).



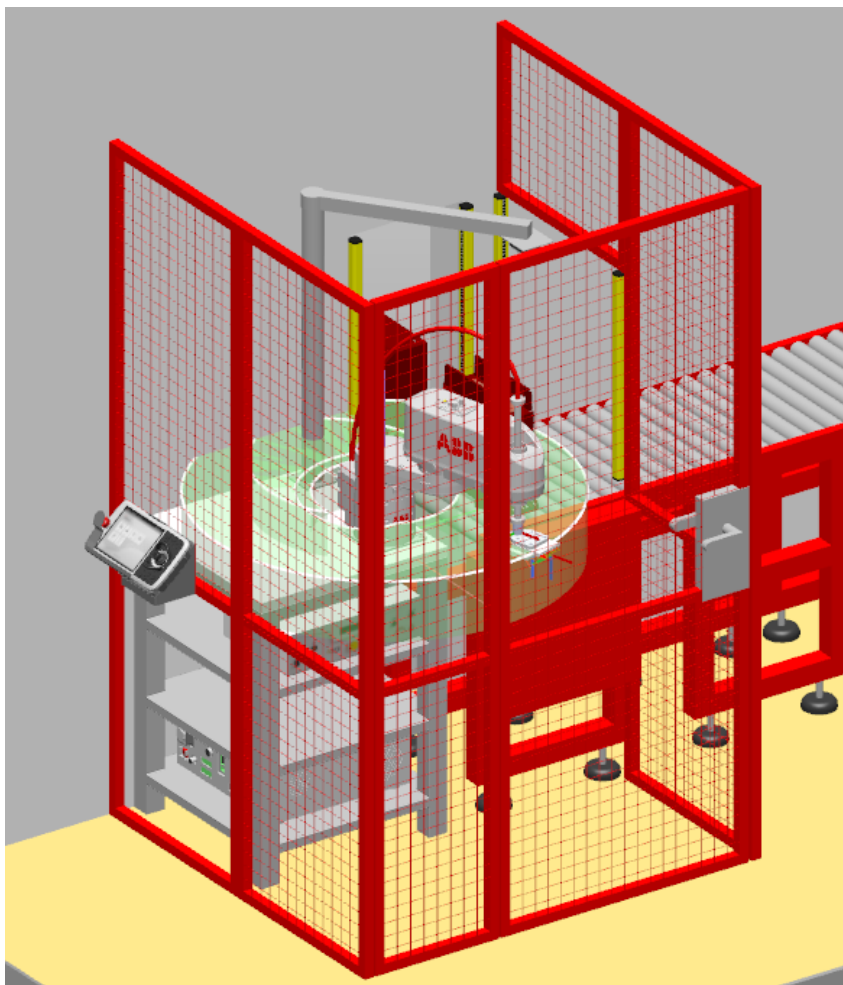
Obrázek 31. Dispozice navrhovaného pracoviště (pohled shora)

Zároveň bylo při návrhu umístění robotu pomýšleno na možnost provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů ručně pro případ jeho odstavení. V takovém případě se při otevření bezpečnostních dveří zabezpečeného prostoru provádí zkouška jako doposud (Obrázek 32).



Obrázek 32. Ruční provádění izolační zkoušky při odstaveném robotu

Robot byl umístěn na zpevněný pracovní stůl, který zároveň posloužil pro umístění vysokonapětového testovacího zdroje, kontroléru robotu a boxu obsahujícího IPC a vysokonapětová relé. K desce stolu je připevněna konstrukce nesoucí kameru pro určení přesné polohy zkoušeného transformátoru, respektive jeho sekundární svorkovnice. Vstup a výstup zabezpečeného prostoru pracoviště jsou opatřeny světelnou závorou bránící vstupu lidské paže nebo jiného cizího předmětu a kolizi s robotem.



Obrázek 33. Vizualizace navrženého pracoviště

### 3.2.9 Popis navrženého procesu

Po příjezdu přístrojového transformátoru po válečkovém dopravníku dojde k sepnutí optického čidla a zastavení dopravníku. Dojde ke spuštění automatického procesu měření. Nejprve pořídí kamera snímek polohy transformátoru a po jeho vyhodnocení pošle hodnoty v podobě prostorových souřadnic na vstup robotu. Ten na základě této korekce provede první část pohybové úlohy – tedy přesné přiložení kontaktů koncového efektoru na sekundární svorkovnici zkoušeného transformátoru. Po dokončení první části pohybové úlohy robot odešle signál do IPC a v této pozici nadále setrvá. IPC po přijetí signálu robotu načte z databáze informaci o zapojení sekundární svorkovnice a na jeho základě provede sepnutí dané kombinace vysokonapěťových relé. Když jsou relé sepnuta, odešle IPC signál na vstup vysokonapěťového zdroje, čímž zahájí samotnou zkoušku izolace odpovídajícího sekundárního vinutí transformátoru. Pokud dojde k průrazu, zkouška se přeruší, robot odjede do domácí pozice a pracovník zkušebny je zvukovým, popřípadě světelným znamením vyzván



k vyřešení tohoto problému (ověření zkoušky ručním měřením, nebo odstranění vadného transformátoru z válečkového dopravníku). Pokud je zkouška úspěšná provede se sepnutí další kombinace vysokonapětových relé a zkouška se takto neustále opakuje, dokud nejsou otestována všechna sekundární vinutí transformátoru. Po úspěšném provedení izolační zkoušky na všech sekundárních vinutích přístrojového transformátoru odešle IPC informaci o úspěšné zkoušce do informační databáze a poté odešle signál na vstup robotu. Robot po přijetí signálu zahájí druhou část pohybové úlohy, a tedy navrátí se do domácí polohy, kde setrvá na přijetí dalšího signálu od IPC. Po návratu do domácí polohy odešle robot signál na vstup IPC. IPC na základě informace o transformátoru získané z databáze odešle vyzkoušený transformátor po válečkovém dopravníku na další pracoviště zkušebny. Následuje příjezd dalšího transformátoru na vstup pracoviště a celý proces se znovu opakuje.

### 3.2.10 Odhad nákladů na pořízení pracoviště

Pořizovací náklady se mohou na základě dodavatelsko-odběratelských vztahů výrazně lišit, proto jsou využity výhradně veřejně dostupné katalogové ceny jednotlivých produktů.

Tabulka 6. Odhadované pořizovací náklady navrhovaného řešení

Název nákladové položky	Cena [Kč]
IRB 920T	450.000, -
Efektor	50.000, -
Systém integrovaného vidění COGNEX	230.000, -
Vysokonapětový testovací zdroj Hipot Tester 298	94.000, -
Sestava IPC	37.000, -
Světelné mříže SICK včetně příslušenství	50.000, -
Relé, konektory, vodiče	60.000, -
Klec a stůl	80.000, -
CELKEM	1.051.000, -

Dalšími náklady budou elektroinstalace, vytvoření programů pro robot a IPC a certifikace celého pracoviště. Celková cena by však neměla přesáhnout 1.250.000, - Kč

Ceny byly pro sjednocení přepočítány dle aktuálního měnového kurzu na hodnotu v Kč.

## 4 SROVNÁNÍ S EXISTUJÍCÍMI ŘEŠENÍMI

Řešení, navržené v této diplomové práci, bylo na míru vytvořeno k aplikaci pro specifické využití v konkrétním provozu. Na trhu sice existují výrobci technologií, které plní funkce požadované pro izolační zkoušku, ale žádný z těchto výrobců nenabízí technologický celek, který by bylo možné bez jakýchkoliv změn a úprav aplikovat přímo na testování přístrojových transformátorů. Pro účel porovnání byl v této práci proveden průzkum trhu, za účelem nalezení dodavatelů, kteří by mohli být schopni podobné řešení realizovat.

### 4.1 Průzkum trhu

Z důvodu komplexnosti řešení se průzkum zaměřil na dva typy dodavatelů. Jedním jsou firmy zabývající se integrací robotických systémů obecně a druhým jsou firmy zaměřující se především na zkušební přístroje a vybavení zkušeben.

První z těchto firem je rakouská společnost B&R Industrial Automation GmbH, která je výrobcem automatizační techniky a globálním centrem ABB pro automatizaci strojů a továren. Firma poskytuje průmyslové počítače a software pro řízení a monitorování strojů a výrobních linek. Toto zahrnuje programovatelné logické kontroléry (PLC), HMI (rozhraní člověk-stroj), a průmyslové sítě. Nabízí řešení pro synchronizaci a kontrolu pohybu v průmyslových aplikacích, včetně servopohonů, stejnosměrných motorů a lineárních aktuátorů. Vizuální systémy, které umožňují operátorům monitorovat a řídit stroje a výrobní procesy. B&R nabízí i řešení pro průmyslovou komunikaci a sítě, včetně Ethernetu, Fieldbus systémů a bezdrátových technologií. Firma také poskytuje řešení pro průmyslovou bezpečnost, včetně bezpečnostních PLC a bezpečnostních komunikačních protokolů. [35]

Další společnost ELPA KUPEČEK, spol. s r. o. se zabývá výrobou a integrací průmyslové automatizace a jednoúčelových strojů, včetně manipulátorů a dopravníkových systémů. Její služby zahrnují také systémovou integraci robotů od společností ABB a FANUC. Specializuje se také na integraci strojového vidění do průmyslových aplikací, což zahrnuje kamerové navádění robotů, kontrolu kvality a čtení čárových kódů. Společnost také navrhuje a vyrábí jednoúčelové stroje a poskytuje plně automatizované výrobní linky na klíč. Dopravníky a dopravníkové systémy jsou rovněž součástí její nabídky, stejně jako výroba jednoúčelových a komplexních měřících systémů. [36]



Obrázek 34. Robotizované pracoviště realizované firmou ELPA KUPEČEK, spol. s r.o.

[36]

Firma TESTOVACÍ TECHNIKA s.r.o. se specializuje na dodávání přesné měřicí a testovací techniky, zejména v oblasti elektrických veličin. Její produktový sortiment zahrnuje malé ruční přístroje, jako jsou multimetry a osciloskopy, až po velké komory pro EMC testování. Společnost také nabízí řešení pro dlouhodobé environmentální testy v laboratorním prostředí. To zahrnuje klimatické a vibrační komory pro běžné teplotní testy a testy zrychleného stárnutí, přístroje pro testování elektrické bezpečnosti, napájecí zdroje a elektronické zátěže, a přístroje pro sběr dat a datalogery. Její hlavní činností je prodej, ale před prodejem vždy poskytuje odborné poradenství a konzultace. Kromě toho zajišťuje záruční a pozáruční servis a kalibraci dodávaných měřicích přístrojů ve spolupráci s autorizovanými servisními středisky jednotlivých výrobců. Společnost také nabízí možnost zapůjčení demo přístrojů pro potenciální zákazníky, aby se mohli seznámit s konkrétním přístrojem a zjistit, jestli splňuje jejich požadavky. [37]

ZERA GmbH je německá společnost specializující se na vývoj, výrobu a prodej zařízení a systémů pro výrobu, měření, testování a kalibraci elektrických veličin. Mezi jejich hlavní produkty patří systémy pro testování měřidel a transformátorů, stejně jako technologie pro testování nabíjecích stanic pro elektromobilitu. Jejich klientelou jsou zejména dodavatelé elektřiny, testovací laboratoře a výrobci přístrojových transformátorů na celém světě. ZERA také nabízí širokou škálu produktů pro testování měřidel, od nejmenších zařízení

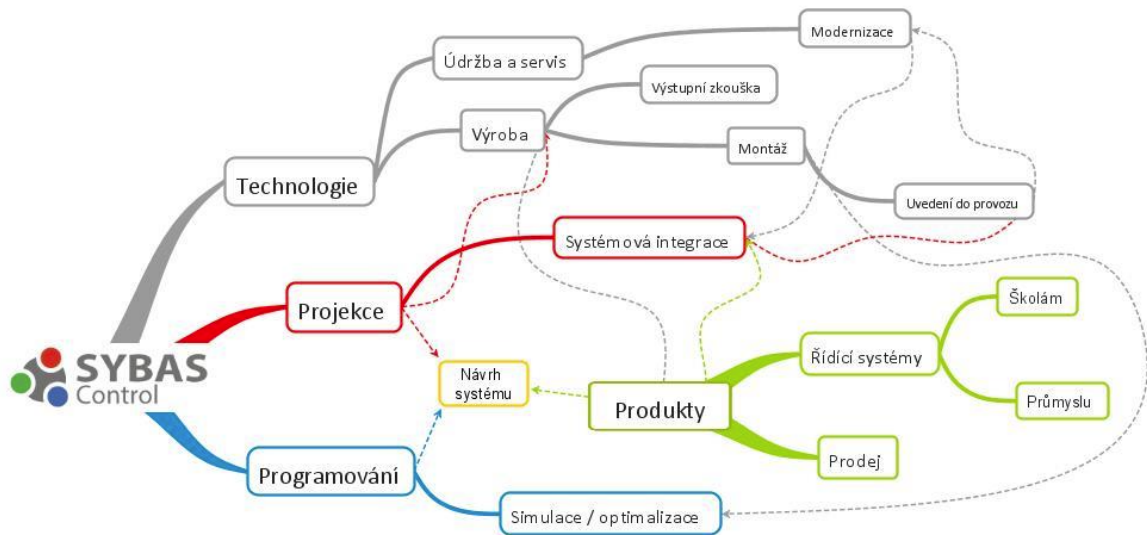
velikosti jednofázového měřidla až po zakázkové poloautomatické systémy s více než 40 testovacími pozicemi. Firma se také zabývá výrobou a prodejem přenosných referenčních měřidel, přenosných zdrojů a testovacích systémů, stejně jako stacionárních testovacích systémů pro střídavý a stejnosměrný proud. Kromě testování měřidel se ZERA také zabývá testováním přístrojových transformátorů a přepínacích zařízení. Nabízí jednotlivé komponenty pro testovací systémy přístrojových transformátorů a stacionární i přenosné systémy pro testování těchto transformátorů. Příklady možných testů zahrnují testy přesnosti, demagnetizaci a izolační testy. [38]



Obrázek 35. Systém pro zkoušení přístrojových transformátorů proudu od společnosti ZERAGmbH [38]

Společnost SYBAS Control s.r.o. se specializuje na oblast průmyslové automatizace a řídicích či regulačních systémů. K jejich hlavním aktivitám patří vývoj, výroba, dodávky a servis těchto systémů, stejně jako speciální měřicí zařízení a návrhy elektronických produktů. Firma nabízí kompletní řešení na klíč, což zahrnuje vše od vývoje po instalaci a servis, s vlastním oddělením pro vývoj. Toto zajišťuje, že veškerá činnost je prováděna s důrazem na kvalitu a že všechny produkty a služby jsou v souladu se systémem řízení kvality. SYBAS Control je také specialista na vývoj elektronických produktů a řídicích systémů, které pracují v reálném čase. Díky tomu jsou schopni poskytnout efektivní a přehledné vizualizace měřených dat, což pomáhá zákazníkům kontrolovat kvalitu, analyzovat a

optimalizovat své výrobní procesy. Další službou, kterou nabízí, je datalogging, neboli sběr a archivace dat. Toto umožňuje vizualizovat a optimalizovat řízení v reálném čase, což může vést k větší efektivitě a produktivitě. [39]



Obrázek 36. Schéma rozsahu činností společnosti [39]

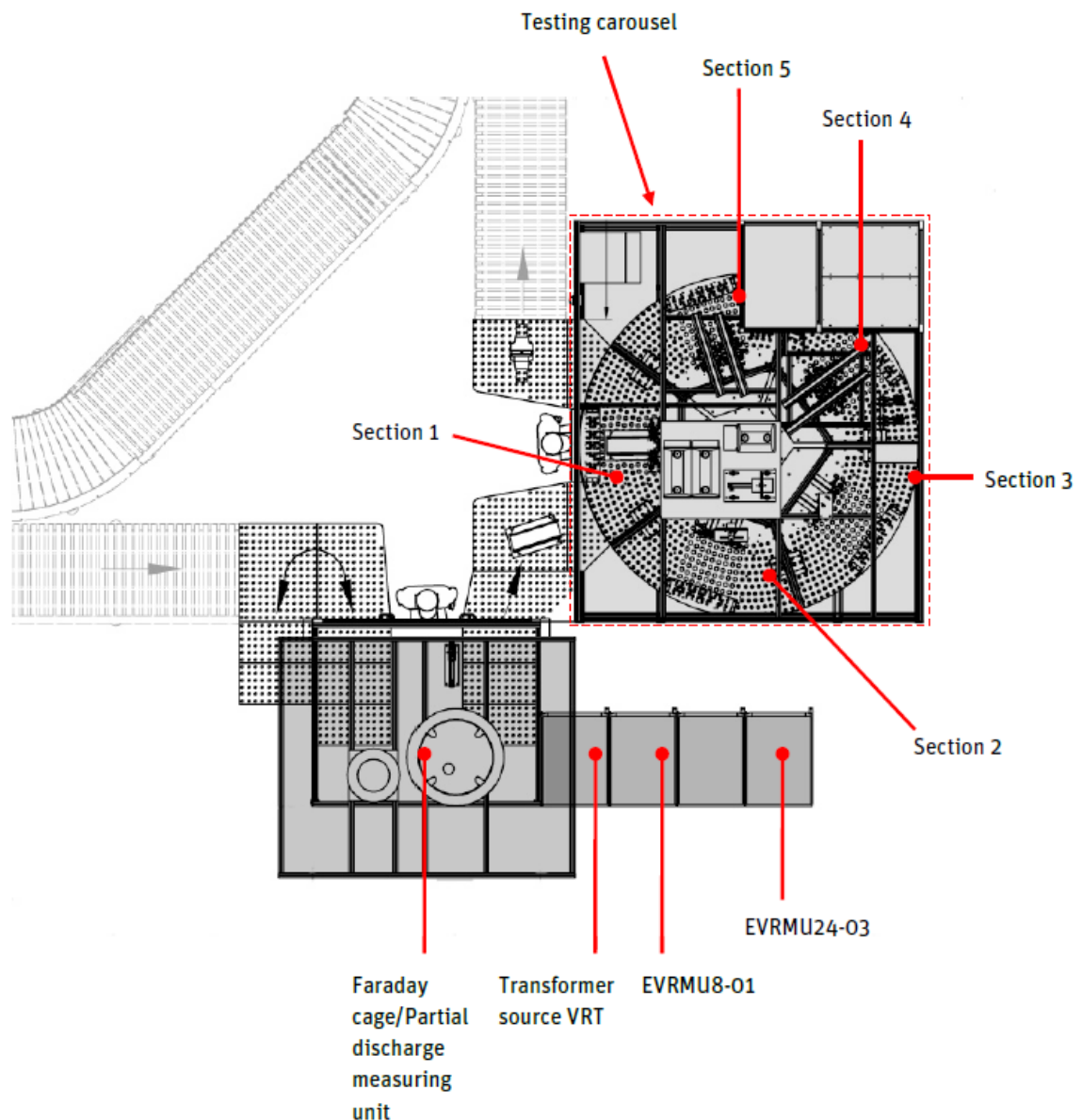
## 4.2 Srovnání návrhu s existujícím řešením

Jediné existující a dostupné zařízení se kterým lze návrh porovnat, je automatické zkušební zařízení proudových transformátorů s Faradayovou klecí ID11263 od německé společnosti ZERA GmbH. Toto zařízení se již od roku 2013 využívá na jedné ze zdejších zkušeben.

Zařízení disponuje dvěma stanovišti. První stanoviště slouží k měření částečných výbojů.

Druhé stanoviště je rozděleno na pět po sobě jdoucích sekcí, mezi kterými je transformátor dopravován pomocí karuselu.

- První sekce – slouží pro zakládání, připojování, odpojování a vykládání transformátorů.
- Druhá sekce – provádí izolační zkoušku 3 kV transformátorů a zkoušku kapacity čidel.
- Třetí sekce – provádí zkoušku odporů primárního a sekundární vinutí, magnetizační křivku a test bezpečnostního faktoru (nadproudové číslo).
- Čtvrtá sekce – zde se provádí mezi závitová izolační zkouška a demagnetizace jádra.
- Páté stanoviště – měření polarity a třídy přesnosti.



Obrázek 37. Dispozice existujícího pracoviště se systémem ID11263 od německé společnosti ZERA GmbH [38]

Zakládání, vykládání, připojování a odpojování zkoušených transformátorů probíhá na obou stanovištích ručně. Průběh zkoušek je pak prováděn automaticky na základě informací o daném transformátoru načtených z databáze.

Pokud je některá ze zkoušek neúspěšná, prochází transformátor přes další stanoviště bez dalšího zkoušení. Pracovník pak musí čekat do dokončení celého cyklu, aby ověřil správné zapojení a ručním měřením potvrdil, nebo vyvrátil závadu. Toto podstatně snižuje efektivitu celého pracoviště. Zejména pokud je neúspěch zkoušky zapříčiněn nesprávným připojením transformátoru, na které je zde kladen velký důraz a je tak zde velký prostor pro lidskou

chybu. Riziko chybného připojení zvyšuje také skutečnost, že opakovanou manipulací s přípojovacími kabely dochází k jejich opotřebení a je nutné je také stále kontrolovat a nahrazovat.



Toto pracoviště zabírá plochu okolo 25 m<sup>2</sup> a pořizovací náklady by po započítání inflace od doby zakoupení dnes činily cca 16.000.000, - Kč. Rozměry i náklady však odpovídají technologické vybavenosti a úrovni zařízení.

### 4.3 Výhody a nevýhody navrženého řešení

Asi největší výhodou a současně motivací k vytvoření tohoto návrhu je skutečnost, že navržené řešení může pracovat v plně automatickém režimu a v ideálním případě tak není nutný žádný zásah člověka po celou dobu provozu. Tím je ušetřeno mnoho času kvalifikovaného pracovníka, který se tak může věnovat dalším typům zkoušek.

Další výhodou je eliminace chyby lidského faktoru při dodržování stanovených postupů, zejména času, po který má zkouška každého jádra probíhat. Právě k této chybě může svádět monotónní povaha zkušebního procesu, který bude v případě využití robotu plně nahrazen.

Pro integraci navrženého pracoviště je za potřebí jen minimum zásahů do pracoviště stávajícího. Po vyřazení automatického režimu je tak možné provádět zkoušku ručně jako doposud, bez jakýchkoliv omezení.

V poslední řadě je třeba zmínit také výhodu velké flexibility navrženého pracoviště k účelům dalšího rozšiřování a modifikací. Přidáním dalších měřících přístrojů a periférií by bylo možné rozšířit funkčnost pracoviště o další typy zkoušek.

Nicméně v současném stavu návrhu, je pracoviště schopno vykonávat pouze jeden typ zkoušky, což může být ve srovnání s karuselovým systémem ZERA bráno jako nevýhoda.

Pro plnou implementaci nového pracoviště bude také nutné zvýšení kvalifikace pracovníků pro účely obsluhy robotu a celého pracoviště. To může přinést další náklady v podobě pravidelných školení, z pohledu motivace rozvoje to však nemusí být bráno jako nevýhoda.



## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provést literární rešerši na téma možnosti provádění izolační zkoušky přístrojových transformátorů s využitím průmyslového robotu, analyzovat proces izolační zkoušky a identifikovat jednotlivé fáze, ve kterých by bylo možné využít průmyslového robotu. Dále zdůvodnit volbu typu robotu a jednotlivých doplňkových komponent pro robotizaci daného pracoviště a popsat a porovnat navržené řešení s existujícím řešením, uvést jejich výhody a nevýhody.

Vzhledem k absenci přímého řešení této problematiky se literární rešerše zaměřila zvláště na jednotlivé aspekty tohoto zadání. Tedy nejprve byl představen přístrojový transformátor a jeho základní vlastnosti včetně popisu významu a postupu při provádění izolační zkoušky. Zvláště pak byla představena automatizace, robotizace jako taková a jejich technické prostředky. Dohromady tyto informace vytvořily dostatečný teoretický základ pro vytvoření praktického návrhu na dané téma.

Přístrojové transformátory a technologie spojené s izolační zkouškou přístrojových transformátorů byly popsány jen do té nutné míry, kterou vyžaduje následný proces robotizace. Pro účely této práce byly využity především informace o základním charakteru přístrojového transformátoru, což bylo nezbytné pro návrh vhodného efektoru a kinematické úlohy celého procesu. Spolu s celkovým popisem stávajícího technologického procesu tak vznikly základní požadavky na typ a parametry zvoleného manipulátoru, zkušebního přístroje a všech dalších nezbytných komponent. Za pomoci off-line programovacího prostředí RobotStudio od společnosti ABB, byla simulačně ověřena správnost této volby robotu z pohledu kinematiky a charakteru pracovního prostoru.

Již zmiňovaná absence existujícího řešení omezila možnost srovnání celku pouze se stávajícím stavem provádění izolační zkoušky a s možnými alternativami tohoto řešení, kterých by bylo možné dosáhnout za využití odlišných prostředků a stupně automaticity.

Výsledné navrhované řešení poskytuje bezprecedentní řešení plně automatizovaného pracoviště, které je aplikovatelné v současném provozu firmy. Jedná se o řešení plně kompatibilní se současným portfoliem na tomto pracovišti zkoušených přístrojových transformátorů a zároveň umožňuje přizpůsobení jak rozšiřujícímu se portfoliu, tak potenciálním úpravám pracoviště k navýšení výrobní kapacity provozu. Díky komplexnímu přístupu k problematice mohou být získané poznatky aplikovány na řadu dalších technologických procesů, které

vyžadují striktní dodržování pracovního postupu a představují plýtvání lidskými zdroji, a tak přispět ke zvyšování efektivity a bezpečnosti v průmyslovém prostředí.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] LAMB, Frank. *Industrial Automation: Hands On*. McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 978-0-07-181647-2.
- [2] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: automatické systémy*. Praha: Computer Press, 2000, ix, 166 s. ISBN 80-7226-249-1.
- [3] STÝKALA, Vítězslav. *Transformátory*. fei1.vsb.cz [online]. [cit. 2014-6-19]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FS/prednasky/sylab\\_TRANS1\\_bc%20FS.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_TRANS1_bc%20FS.pdf)
- [4] IEC. *IEC 60050-441 - Part 441: Switchgear, controlgear and fuses*. IEC. Geneva. 1984.
- [5] KOPEČEK, Jan a Miloš DVOŘÁK. *Přístrojové transformátory (měřicí a jističí)*. Praha: Academia, 1966.
- [6] Electropedia: *Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary* [online]. Geneva: InternationalElectrotechnicalCommission, 2023 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.electropedia.org/>
- [7] *Přístrojové transformátory proudu a napětí*. In: ABB [online]. Brno: ABB, 2017, 28.6.2017 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: [www.abb.com](http://www.abb.com)
- [8] VRÁNA, Václav. *Transformátory*. Vysoká škola báňská, 2005-10 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC\\_FBI/Prednasky/Trafa\\_bc.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/BC_FBI/Prednasky/Trafa_bc.pdf)
- [9] *Transformátory napětí vnitřního provedení*. In: ABB [online]. Brno: ABB, 2017, 28.6.2017 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: [www.abb.com](http://www.abb.com)
- [10] *Podpěrné transformátory proudu vnitřního provedení*. In: ABB [online]. Brno: ABB, 2017, 28.6.2017 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: [www.abb.com](http://www.abb.com)
- [11] HRUBEŠ, Jan. *Měření izolačního odporu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Elektrotechnická minima.
- [12] HAASZ, Vladimír, Jan HOLUB, Michal JANOŠEK, Petr KAŠPAR a Vojtěch PETRUCHA. *Elektrická měření: přístroje a metody*. 3. přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06412-2.
- [13] IEC. *IEC 61869-1 - Part 1: General requirements*. IEC. Geneva. 2007.
- [14] IEC. *IEC 61869-2 - Part 2: Additional requirements for current transformers*. IEC. Geneva. 2012.

- [15] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [16] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [17] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [18] NAVRÁTIL, Pavel. *Automatizace: Vybrané statě*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně – Fakulta aplikované informatiky, [2011]. ISBN: 978-80-7318-935-8
- [19] WILSON, Mike. *Implementation of robot systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. Amsterdam: Elsevier, BH, 2015, xv, 229 s. ISBN 9780124047334.
- [20] Kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika: automatické řízení*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-4106-9.
- [21] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [22] *Technický týdeník: Automatizace robotizace* [online]. ČR: Business Media CZ, 2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/>
- [23] GLASER, Andrew. *Industrial robotics: how to implement the right system for your plant*. New York: Industrial Press, c2009, 1 [online]. Dostupné z: [http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIRHIRSY8/industrial\\_robotics\\_how\\_to\\_implement\\_the\\_right\\_system\\_for\\_your\\_plant](http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIRHIRSY8/industrial_robotics_how_to_implement_the_right_system_for_your_plant)
- [24] BRADSKI, Gary a KAEHLER, Adrian. *Learning OpenCV*. USA: O'Reilly Media, Inc., 2008. ISBN 978-0-596-51613-0.
- [25] SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications 2nd Edition*. USA: The University of Washington, 2021. ISBN 978-3030343712.
- [26] HUANG, Katie. *An Introduction to Computer Vision* [online]. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://medium.com/>
- [27] Cognex [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.cognex.com>
- [28] *Vše o průmyslu: portál pro moderní výrobu* [online]. Trade Media International, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/>

- [29] Siemens [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.siemens.com>
- [30] *Product specification: IRB 920T* [online]. ABB, 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC075723-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [31] SCI An Ikonix Brand [online]. Dostupné z: <https://www.hipot.com/>
- [32] SPS electronic [online]. Dostupné z: <https://www.spselectronic.com>
- [33] Beckhoff [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com>
- [34] Sick [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.sick.com>
- [35] B&R Industrial Automation GmbH [online]. [cit. 2023-02-12]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/>
- [36] ELPA KUPEČEK [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.elpakupecek.cz/>
- [37] TESTOVACÍ TECHNIKA [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://teste.cz/>
- [38] ZERA [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.zera.de/>
- [39] SYBAS Control [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://www.sybas.cz/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AI	Artificial intelligence (umělá inteligence).
CNN	Convolutional neural network (konvoluční neuronová síť).
DOF	Degrees of freedom (stupně volnosti).
EMC	Elektromagnetická kompatibilita.
HMI	Human machine interface (rozhraní člověk-stroj).
HRI	Human-robot interaction (interakce mezi roboty a lidmi).
IIoT	Industrial internet of things (průmyslový internet věcí).
IoT	Internet of things (internet věcí).
IPC	Industrial Personal Computer (průmyslový počítač)
PLC	Programmable Logic controller (programovatelný logický ovladač)
PTN	Přístrojový transformátor napětí.
PTP	Přístrojový transformátor proudu.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1	Přístrojové transformátory proudu a napětí [7] .....	10
Obrázek 2	Přístrojový transformátor napětí [9] .....	11
Obrázek 3	Přístrojový transformátor proudu [10] .....	12
Obrázek 4	Příklad paralelní konstrukce robotu [19] .....	24
Obrázek 5	Příklad konstrukce robotu SCARA [19] .....	25
Obrázek 6	Příklad kloubové konstrukce robotu [19] .....	26
Obrázek 7	Příklad konstrukce paralelního robotu [19] .....	26
Obrázek 8	Programovatelný automat Modicon 084 [28] .....	37
Obrázek 9.	Programové prostředí TIA Portal od společnosti Siemens [29] .....	39
Obrázek 10.	Pracoviště pro provádění izolační zkoušky 3kV .....	41
Obrázek 11.	Dispozice stávajícího pracoviště .....	42
Obrázek 12.	Testovací zdroj vysokého napětí TESLA HT 5053 .....	42
Obrázek 13.	Nákres sekundární svorkovnice přístrojového transformátoru .....	44
Obrázek 14.	Přikládání testovacích pistolí na svorky transformátoru .....	45
Obrázek 15.	Ovládací panel válečkového dopravníku .....	46
Obrázek 16.	3D model navrženého efektoru v programovém prostředí SolidWorks .....	48
Obrázek 17.	Pružný kontakt efektoru .....	49
Obrázek 18.	Pohled na zadní část efektoru a vodiče .....	49
Obrázek 19.	Průmyslový robot typu SCARA IRB 920T [30] .....	50
Obrázek 20.	Konfigurace os robotu IRB 920T [30] .....	51
Obrázek 21.	Průmyslová kamera In-Sight řady 7000 od společnosti COGNEX [27] .....	52
Obrázek 22.	HMI VISIONVIEW 900 od společnosti COGNEX [27] .....	52
Obrázek 23.	Vysokonapěťový testovací zdroj Hipot Tester 298 od firmy SCI [31] .....	53
Obrázek 24.	Rozdělení pinů REMOTE I/O [31] .....	54
Obrázek 25.	Vysokonapěťové relé RL 21 od výrobce SPS electronic [32] .....	56
Obrázek 26.	Vysokonapěťový konektor řady 22 od společnosti SPS electronic [32] .....	57
Obrázek 27.	C6015-0010 - Ultra-compact industrial PC [33] .....	58
Obrázek 28.	EK1100 – EtherCAT Coupler [33] .....	59
Obrázek 29.	EL1809 – EtherCAT Terminal (vlevo) EL2809 – EtherCAT Terminal (vpravo) [33] .....	59
Obrázek 30.	Vícepaprskové bezpečnostní světelné mříže M4000 Advanced od společnosti SICK [34] .....	60

Obrázek 31. Dispozice navrhovaného pracoviště (pohled shora).....	61
Obrázek 32. Ruční provádění izolační zkoušky při odstaveném robotu .....	62
Obrázek 33. Vizualizace navrženého pracoviště .....	63
Obrázek 35. Robotizované pracoviště realizované firmou ELPA KUPEČEK, spol. s r.o. [36].....	66
Obrázek 36. Systém pro zkoušení přístrojových transformátorů proudu od společnosti ZERAGmbH [38].....	67
Obrázek 37. Schéma rozsahu činností společnosti [39] .....	68
Obrázek 38. Dispozice existujícího pracoviště se systémem ID11263 od německé společnosti ZERA GmbH [38].....	69



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Technické údaje testovacího zdroje vysokého napětí Tesla HT 5053.....	43
Tabulka 2. Základní parametry robotu IRB 920T .....	50
Tabulka 3. Technické údaje testovacího zdroje vysokého napětí SCI 298 [31].....	53
Tabulka 4. Tabulka I/O signálů testovacího zdroje SCI 298 [31] .....	55
Tabulka 5. Technické parametry vysokonapěťového relé RL 21 .....	56
Tabulka 6. Odhadované pořizovací náklady navrhovaného řešení .....	64

## SEZNAM PŘÍLOH

- PI Vývojový diagram procesu provádění izolační zkoušky přístrojového transformátoru na navrženém robotizovaném pracovišti.
- PII CD



## Příloha P II: CD

### Obsah přiloženého CD:

- Diplomová práce v elektronické podobě
- Soubor programu RobotStudio se simulačním modelem pracoviště
- 3D model navrženého efektoru v programu SolidWorks