

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

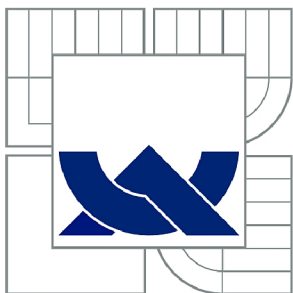
HRA PIŠKVORKY POMOCÍ 2D MANIPULÁTORU

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

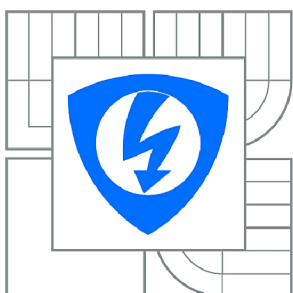
Bc. MARTIN MALÉŘ

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## **HRA PIŠKVORKY POMOCÍ 2D MANIPULÁTORU**

TIC-TAC-TOE GAME BY 2D MANIPULATOR

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. MARTIN MALÉŘ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Bc. Martin Maléf

**ID:** 136554

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

## Hra piškvorky pomocí 2D manipulátoru

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Nastudujte dokumentaci k modelu hrací plochy a manipulátoru, řídicích PLC a sítí AS-Interface.
2. Realizujte obnovu elektrovýzbroje manipulátoru pro komunikační síť Ethernet/IP.
3. Realizujte vizualizaci celého systému v prostředí FactoryTalk.
4. Ověřte funkčnost na demonstraci hry piškvorky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Becker, R. a kol.: AS-Interface, řešení pro automatizaci. AS-International Association, 2004, 184 s. ISBN 80-214-2958-5

Logix5000 Controllers General Instructions (Reference Manual). Milwaukee: Rockwell Automation, Inc. 2008.

Logix5000 Controllers Add-on Instructions (Programming Manual). Milwaukee: Rockwell Automation, Inc. 2011.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 18.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Radek Štohl, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá obnovou elektroinstalace 2D manipulátoru a jeho uvedením do chodu. Obsahuje popis samotného stroje, použitých komponent a jejich zapojení. Je v ní popsán princip dvou komunikačních sběrnic, které jsou pro ovládání stroje použity. Další část práce je věnována bezpečnostní analýze daného stroje. Následující kapitoly pak popisují řídicí program a vytvořenou vizualizaci.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

2D manipulátor, bezpečnost, elektroinstalace, EtherNet/IP, AS-Interface, vizualizace, piškvorky

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with the renewal of electrical equipment of 2D manipulator and putting it into operation. It contains a description of the machine, used components and their connections. It describes the principle of two communication buses, which are used for machine control. Next part is devoted to the safety analysis of the machine. Following chapters describe developing of a control program and designing of a visualization.

## **KEYWORDS**

2D manipulator, Safety, Electrical installation, EtherNet/IP, AS-Interface, Visualization, Tic-Tac-Toe

MALÉŘ, Martin *Hra piškvorky pomocí 2D manipulátoru: diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY, 2015. 76 s. Vedoucí práce byl Ing. Radek Štohl, Ph.D.



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Hra piškvorky pomocí 2D manipulátoru“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Radkovi Štohlovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Model 2D manipulátoru</b>	<b>11</b>
1.1 Konstrukce modelu	11
<b>2 Bezpečnost stroje</b>	<b>13</b>
2.1 Normy	14
2.1.1 Popis normy ČSN EN ISO 12100:2011	14
2.1.2 Popis normy ČSN EN ISO 60204-1 ed. 2	15
2.1.3 Popis normy ČSN EN ISO 13849-1:2008	16
2.2 Proces dosažení bezpečného stroje	18
2.3 Analýza rizik	20
2.3.1 Určení mezních hodnot	20
2.3.2 Identifikace nebezpečí	21
2.3.3 Vyhodnocení rizika	22
2.3.4 Posouzení rizika	23
2.3.5 Opatření pro snížení rizika	23
2.4 Úpravy podle navrhovaných opatření	24
2.5 Ověření bezpečnosti	25
2.5.1 SISTEMA	25
2.5.2 Safety Automation Builder	26
<b>3 Obnova elektroinstalace 2D manipulátoru</b>	<b>28</b>
3.1 Pohon	28
3.2 Bezpečnostní prvky	29
3.2.1 Bezpečnostní relé	29
3.2.2 Ostatní bezpečnostní prvky	30
3.3 Rozvaděč	31
3.4 Konfigurace zařízení	32
3.5 Řídicí systém	32
3.5.1 Použité PLC	33
<b>4 Model labyrintu</b>	<b>35</b>
4.1 Konstrukce	35
4.2 Elektronické komponenty	36
<b>5 Komunikační protokoly</b>	<b>38</b>
5.1 Ethernet/IP	38
5.1.1 Způsob komunikace	39
5.2 AS-Interface	40
5.2.1 Parametry sítě	40
5.2.2 Princip komunikace	41
5.2.3 Safety at Work	42
<b>6 Programování PLC</b>	<b>43</b>
6.1 Vývojové prostředí RSLogix 5000	43
6.2 Založení projektu	44
6.3 Popis programu	45

6.4	Vybrané pohybové instrukce . . . . .	46
6.4.1	Instrukce stavu pohonu . . . . .	46
6.4.2	Instrukce pohybu . . . . .	47
6.4.3	Skupinové instrukce . . . . .	48
6.4.4	Instrukce koordinovaného pohybu . . . . .	49
<b>7</b>	<b>Vizualizace</b>	<b>51</b>
7.1	FactoryTalk View Studio ME 7 . . . . .	51
7.1.1	Struktura projektu vizualizace . . . . .	52
7.2	Obrazovky vizualizace . . . . .	53
<b>8</b>	<b>Závěr</b>	<b>56</b>
	<b>Literatura</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>60</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>61</b>
<b>A</b>	<b>Výňatek z ČSN EN ISO 12100</b>	<b>62</b>
<b>B</b>	<b>Schémata zapojení elektroinstalace</b>	<b>63</b>
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD-ROM</b>	<b>76</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Model 2D manipulátoru . . . . .	11
1.2	Servomotor [3] . . . . .	12
2.1	Postup určení PLr [5] . . . . .	17
2.2	Definované architektury bezpečnostní funkce [6] . . . . .	18
2.3	Možnosti snížení rizika [5] . . . . .	19
2.4	Pracovní prostředí SISTEMA . . . . .	26
2.5	Pracovní prostředí Safety Automation Builder . . . . .	27
3.1	Měnič [7], AC filtr [8] . . . . .	28
3.2	GuardMaster MSR-57P [9], GuardMaster 440R-D22R2 [10] . . . . .	29
3.3	Zámek TLS1-GD2 [11], závora 440L POC GuardShield Type 4 [12] . . . . .	30
3.4	Stop tlačítko, tlačítko reset a přepínač režimů . . . . .	30
3.5	Umístění komponent v rozvaděči . . . . .	31
3.6	Vnitřní struktura PLC [13] . . . . .	33
3.7	Programovatelný automat CompactLogix 5370 L3 . . . . .	34
4.1	Model labyrintu . . . . .	35
4.2	Moduly digitálních výstupů AC5213 [15] a vstupů AC5210 [16] . . . . .	36
4.3	Modul pro optické brány OV5012 [17] . . . . .	36
4.4	Spodní díl AC5000 [18], horní díl s tlačítky AC2088 [19] . . . . .	37
4.5	Reflexní snímač OE0004 [20], vysílač OE0003 / přijímač OE0002 [21] . . . . .	37
4.6	Napájecí zdroj AS-i POWER . . . . .	37
5.1	Komunikační model používaných sběrnic [22] . . . . .	38
5.2	Komunikace po sběrnici AS-Interface [23] . . . . .	41
6.1	Vývojové prostředí RSLogix 5000 . . . . .	43
6.2	Vybrané instrukce stavu pohonu . . . . .	47
6.3	Vybrané pohybové instrukce . . . . .	48
6.4	Vybrané skupinové instrukce . . . . .	48
6.5	Vybrané instrukce koordinovaného pohybu . . . . .	50
7.1	Hlavní okno FTV . . . . .	51
7.2	Vytváření proměnných . . . . .	52
7.3	Struktura GUI . . . . .	53
7.4	Hlavní obrazovka a obrazovka s informacemi o projektu . . . . .	53
7.5	Indikace stavu zařízení . . . . .	54
7.6	Manuální ovládání a obrazovka s nápovědou . . . . .	54
7.7	Hra piškvorky a obrazovka s nápovědou a pravidly . . . . .	55
A.1	Proces posouzení a snížení rizika tříkrokovou metodou . . . . .	62

# SEZNAM TABULEK

2.1	Vztah mezi SIL a PL [4]	17
2.2	Kritéria určující hodnotu PLr	17
2.3	Seznam ochranných opatření [6]	24
5.1	Parametry sítě AS-Interface	40
5.2	Rámce komunikace AS-Interface	41

## ÚVOD

Tato diplomová práce se věnuje především obnově elektroinstalace a programového vybavení laboratorního modelu 2D manipulátoru. S použitím nových řídicích i bezpečnostních prvků elektroinstalace souvisí analýza bezpečnostních rizik, která je v práci zpracována. Hlavním úkolem je zajistit funkčnost zařízení s novými komponenty s důrazem na splnění požadavků na bezpečnost danou zákony ČR. Konečným výstupem, který slouží jako demonstrace funkčnosti celého stroje s novou elektroinstalací, je nový řídicí program a vizualizace, pomocí níž je možné manipulátor ovládat. Součástí řídicího programu je také hra piškvorky. Jako hrací plocha slouží model labyrintu, který je připojen k řídicímu systému manipulátoru pomocí průmyslové sběrnice AS-Interface.

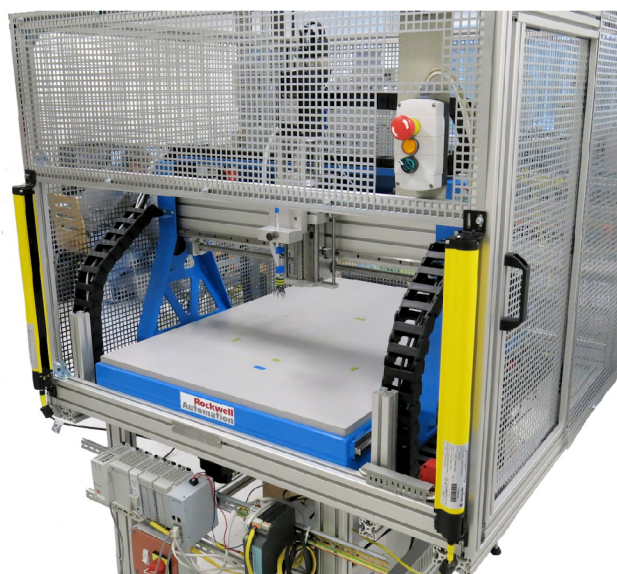
Samotná práce je rozdělena do několika logických celků. První krátká kapitola je věnovaná seznámení se s modelem a jeho konstrukcí. Následuje velmi důležitá pasáž práce, a tou je analýza rizik. Je nezbytná pro správný výběr a použití bezpečnostních prvků. Bez této analýzy není možné uvést stroj do opětovného provozu. Další část práce je vyhrazena popisu nového elektrického vybavení a návrhu jeho zapojení. Práce pokračuje popisem již zmíněného modelu labyrintu. Následující kapitola je věnována teorii použitých komunikačních protokolů Ethernet/IP a AS-Interface. Poslední dvě kapitoly obsahují popis nově vzniklého softwaru, kterým jsou řídicí program a vizualizace.

# 1 MODEL 2D MANIPULÁTORU

Manipulátor je zařízení, které může sloužit mnoha účelům v závislosti na jeho modifikaci, základní princip je však vždy stejný. Skládá se z pohyblivé konstrukce, která umožňuje pohyb ve třech osách –  $x$  = dopředu/dozadu,  $y$  = doleva/doprava a  $z$  = nahoru/dolů. Pohyb nejčastěji zajišťují elektromotory nebo pneumatické či hydraulické systémy. Nástroj, který je umístěn na rameni, které vykonává pohyb nahoru a dolů, udává funkci manipulátoru. Pokud na tomto rameni bude nástroj pro uchopení, bude jeho funkcí manipulace s předmětem bez zásahu lidské ruky. Uplatnění nalezne například v prostředích nebezpečných člověku nebo v případě těžkých břemen – portálový jeřáb má shodný princip konstrukce. Připojením frézy na rameno osy  $z$  získáme CNC frézku – viz diplomová práce pana Pavla Kováře[1]. Pokud připojíme na rameno psací nástroj, například fix, získáme vektorový plotr, který dokáže vykreslovat jakékoliv křivky, tedy také písmo, kterému je věnovaná bakalářská práce pana Jaromíra Poláka[2]. Jak lze vidět, 2D manipulátor má spoustu možností využití.

## 1.1 Konstrukce modelu

Na obrázku 1.1 je zachycen 2D manipulátor v aktuálním stavu. Konstrukce samotného manipulátoru (modré části stroje) je vyrobena firmami Robotech a Zámečnictví – MSK. Model se skládá ze stolu z hliníkových konstrukčních prvků, ke kterému je připevněna posuvná konstrukce manipulátoru. Ta se může pohybovat po spodních kolejnicích v ose  $x$ , dále se po konstrukci v příčné ose  $y$  pohybuje držák na nástroj, který koná vertikální pohyb v ose  $z$ . Pohyb zajišťují 3 servomotory.



Obr. 1.1: Model 2D manipulátoru



Ve spodní části konstrukce modelu vzadu je umístěn rozvaděč s elektroinstalací včetně hlavního vypínače. Řídicí PLC, ethernetový switch a napájecí zdroje 24V pro model labyrintu jsou umístěny zepředu modelu. Důvodem tohoto umístění je nedostatek místa v rozvaděči, jehož uspořádání lze nalézt v kapitole 3.3. Zepředu jsou také umístěny ovládací prvky stroje – tlačítka pro obsluhu zařízení, přepínač režimu stroje a nouzové stop tlačítko. Zapojení elektroinstalace se podrobně věnuje kapitola 3.



Obr. 1.2: Servomotor [3]

Manipulátor pohánějí tři 3-fázové servomotory – 2x MPL-A310F-HK22AA a 1x MPL-A310F-HK24AA vybavený brzdou. Motor s brzdou je použit pro držák nástroje, který se pohybuje ve svislém směru a působí na něj gravitační síla. Oba typy motorů mají shodné parametry. Napájí se 230V, mají 3000 ot/min, krouticí moment 1,58 Nm a výstup enkodéru. Tyto motory jsou již součástí konstrukce. V závislosti na použitých motorech byly zvoleny další komponenty.

Jak již bylo zmíněno, stroj byl zkonstruován před několika lety a byl používán. Popsané konstrukční prvky manipulátoru jsou tedy pevně dané a nelze je měnit. Následující kapitoly se věnují bezpečnosti tohoto stroje a realizaci nové elektroinstalace na základě analýzy rizik.

## 2 BEZPEČNOST STROJE

Při práci na jakémkoli stroji může vznikat bezpečnostní riziko jak pro samotnou obsluhu, tak i pro okolní prostředí. Bezpečnost strojních zařízení je zakotvena v zákonech České republiky i Evropské unie. Konkrétně je to směrnice evropského parlamentu a rady 2006/42/ES začleněná do národního práva nařízením vlády 176/2008 Sb. Vztah českého státu a výrobce řeší zákony 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, dále nařízení vlády 378/2001 Sb., stanovující požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí a pak zákon číslo 102/2001 Sb., o obecné bezpečnosti výrobků. Povinnost používat bezpečné stroje je i na straně zaměstnavatele. Zákon 309/2006 Sb. k tomuto hovoří takto: *„Zaměstnavatel je povinen zajistit, aby stroje, technická zařízení, dopravní prostředky a náradí byly z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci vhodné pro práci, při které budou používány. Stroje, technická zařízení, dopravní prostředky a náradí musí být vybaveny ochrannými zařízeními, která chrání život a zdraví zaměstnanců, vybaveny nebo upraveny tak, aby odpovídaly ergonomickým požadavkům a aby zaměstnanci nebyli vystaveni nepříznivým faktorům pracovních podmínek, pravidelně a řádně udržovány, kontrolovány a revidovány.“*

Konkrétní požadavky na bezpečnost zařízení jsou uváděny v podobě vyhlášek a norem. Strojní zařízení je dle normy ČSN EN ISO 12100 definováno takto: *„Montážní celek sestavený z částí nebo součástí, z nichž je alespoň jedna pohyblivá, s příslušnými pohonnými, ovládacími a silovými obvody, vzájemně spojenými za účelem specificky stanoveného použití, zejména pro zpracování, úpravu, dopravu nebo balení materiálu.“*

Normy slouží pro konstruktéry jako návod, jak navrhnout stroj tak, aby byl svému okolí co možná nejméně nebezpečný. Uvedení strojních zařízení do provozu je podmíněno splněním potřebných norem. Pokud má být zařízení určeno k prodeji do Evropské unie, musí splňovat i další požadavky. Těmito požadavky jsou technická dokumentace ke stroji v jednom z jazyků členských států Evropské unie, návod v jazyce státu, kam je zařízení prodáváno. Dále musí být přiloženo prohlášení o shodě a zařízení musí být označeno značkou CE.

Cena za bezpečnost strojů se může jevit relativně vysoká, ale je třeba si uvědomit, že přináší i výhody. Použité ochranné prvky mohou zachránit lidský život, samotný stroj a v neposlední řadě také velké finanční prostředky. Pokud výrobce dodrží všechny požadavky legislativy, je také právně chráněn, pokud se stane nějaká nehoda. V neposlední řadě jde také o renomé firmy.

## 2.1 Normy

Pro konstruktéra jsou nejzásadnější především tyto normy:

- ČSN EN ISO 12100:2011 Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika
- ČSN EN ISO 13849-1:2008 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů
- ČSN EN 60204-1 ed. 2 Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky

Evropská instituce CEN/CENELEC, věnující se standardizaci technických norem na základě požadavků trhu, rozděluje normy do tří základních typů:

- Normy typu A (základní bezpečnostní normy) definují základní pojmy, zásady pro projektování a konstrukci strojních zařízení. Dále uvádějí všeobecné požadavky, které lze aplikovat na všechna strojní zařízení.
- Normy typu B (skupina bezpečnostních norem) se zabývají pouze jedním bezpečnostním hlediskem nebo pouze jedním typem bezpečnostního zařízení, které však lze použít pro více strojů. Dále se tyto normy dělí na podskupiny:
  - B1 řeší jednotlivé bezpečnostní aspekty (např. teplota povrchu, úroveň hluku atd.)
  - B2 se zabývá příslušnými bezpečnostními zařízeními (např. blokovací zařízení, kryty atd.)
- Normy typu C (bezpečnostní normy pro stroje) kladou detailní požadavky na bezpečnost pro jednotlivé stroje nebo skupinu strojů

Pokud je pro projektování a konstrukci určitého typu stroje použita norma typu A, je nutné při jejím použití ještě použít i normu typu B případně C pokud jsou zpracovány.

### 2.1.1 Popis normy ČSN EN ISO 12100:2011

#### **Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika**

Tato norma z roku 2008 nahradila předchozí normy ČSN EN ISO 12100-1, ČSN EN ISO 12100-2 a ČSN EN ISO 12121-1. V této normě je specifikována základní terminologie, zásady a metodologie pro projektování a konstrukci strojních zařízení z hlediska bezpečnosti. Dále se norma věnuje zásadám posuzování a snižování rizik. Slouží jako návod pro konstruktéry ke splnění všech požadavků na bezpečnost stroje. Předmětem normy nejsou rizika a poškození domácích zvířat, majetku ani prostředí.

Zásady, které norma popisuje, jsou založeny na zkušenostech z konstrukce, používání, ale i nehod strojních zařízení. Norma zmiňuje postupy sloužící pro identifikaci nebezpečí a pro odhadnutí a posouzení rizik v podstatných fázích životního cyklu stroje. Dále se věnuje zásadám a opatřením, které vedou buď k úplnému vyloučení nebezpečí, nebo alespoň k dostatečnému snížení rizika. Norma obsahuje postup pro ověření procesu posouzení a snížení rizika pomocí tříkrokové metody, viz příloha A. Norma je typu A. Je přímo určena jako základ při zpracování bezpečnostních norem typu B a C, které je nutné také použít, pokud byly zpracovány. Příloha B v dokumentu normy uvádí v přehledných tabulkách příklady nebezpečí, nebezpečných situací a událostí, které pomohou objasnit všechny pojmy a byly nápomocné konstruktérovi v průběhu procesu identifikace nebezpečí.

### 2.1.2 Popis normy ČSN EN ISO 60204-1 ed. 2

#### Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Všeobecné požadavky

Norma ČSN EN 60204-1 ed. 2 je podle hierarchie bezpečnostních norem typu B1. Znamená to, že její požadavky lze uplatnit na všechna zařízení, pro která nebyla vytvořena norma typu C. Norma je platná pro elektrická zařízení do jmenovitého napětí 1000V AC do frekvence 200Hz nebo 1500V DC.

Tato norma je zaměřena především na bezpečnost osob a majetku, shodu řízení a provedeního úkonu a snadnost údržby. Říká také, že rizikovost stroje, vycházející z elektrických zařízení stroje, musí být zařazena do posuzování celkové rizikovosti strojního zařízení. Je třeba dbát pozornosti na nebezpečí, která mohou vznikat např. poruchou nebo závadou v elektroinstalaci stroje, v řídicích obvodech, poruchou nebo přerušením vnějšího přívodu energie, elektrickým rušením, akumulovanou energií (elektrickou, mechanickou atd.), ale také i hlukem, který může způsobit zdravotní potíže obsluhy.

Pro tuto práci jsou důležité zejména části normy, které se zabývají funkcemi strojního zařízení a rozhraním člověk-stroj. Jsou zde popsány požadavky na umístění ovládacích a řídicích prvků stroje. Bezpodmínečně nutné je použití hlavního vypínače, který zajišťuje nouzové odpojení od přívodu energie. Hlavní vypínač musí splňovat hned několik požadavků:

- spolehlivě odpojit zařízení od napětí
- mít viditelnou odpojovací dráhu nebo ukazatel polohy, neumožňující indikovat polohu vypnuto, pokud nejsou odpojeny všechny kontakty
- umožňovat uzamčení

Dalším skupinou zařízení, kterých se norma týká, jsou řídicí obvody, které vykonávají základní funkce zařízení a řízení provozu stroje a k ochraně silových obvodů. Pro jejich napájení musí být použit transformátor s oddělenými vinutími. Velikost výstupního napětí je dána požadavky řídicího obvodu, přičemž nesmí překročit 277V. Řídicí obvody musí být jištěny proti nadproudu.

Norma také definuje základní bezpečnostní zásady. Důležité požadavky jsou kladeny na zkratový stav. Zemní spojení kteréhokoliv vodiče řídicích obvodů nesmí způsobit nežádoucí spuštění stroje nebo pohyb jeho nebezpečných částí a nesmí také zabránit zastavení stroje. U složitějších strojů musí řídicí systém umožňovat volbu různých pracovních režimů strojního zařízení. V našem případě budou tyto režimy dva – normální provoz a režim údržby. V servisním režimu nesmí být povolena činnost stroje, ale zároveň mohou být vyřazeny některé bezpečnostní prvky. Zároveň musí být režim stroje jednoznačně označen. Nutnou součástí je již zmíněný hlavní vypínač, který zajišťuje nouzové odpojení stroje od přívodu elektrické energie, a také funkce nouzového zastavení. Funkce stop musí být realizována rozpínacími kontakty, funkce povolující pohyb stroje musí být iniciována spínacími kontakty ovládacího přístroje.

### 2.1.3 Popis normy ČSN EN ISO 13849-1:2008

#### Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci

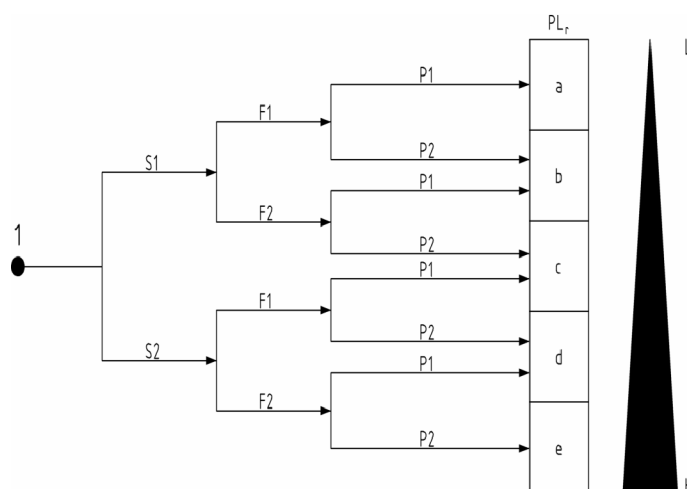
V normě ČSN EN ISO 13849-1:2008 jsou specifikovány požadavky pro konstrukci a integraci bezpečnostních částí ovládacích systémů (SRP/CS), a to včetně návrhu software pro tyto systémy. Definiuje vlastnosti, které určují úroveň vlastností, která je požadována pro vykonávání bezpečnostních funkcí. Norma je platná pro SRP/CS nezávisle na použité technologii a energii (elektrické, mechanické, hydraulické atd.). Norma se nezabývá konkrétními bezpečnostními funkcemi nebo úrovní vlastností pro konkrétní případy, ale specifikuje požadavky pro ovládací bezpečnostní systémy, které jsou na bázi programovatelných elektronických systémů.

Norma se věnuje snížení rizikovosti strojního zařízení pomocí SRP/CS. Pro uplatnění postupů v této normě je potřeba mít zpracovanou analýzu rizik. Norma pracuje s pojmy jako diagnostické pokrytí (DC), střední dobou mezi dvěma nebezpečnými poruchami (MTTFd) a úrovní vlastností (PL). Úroveň vlastností je normou definována jako průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu. Dělí se na několik úrovní. Dřívější norma ČSN EN 62061 používala místo PL tzv. hodnotu integrity SIL. Vztah mezi SIL a PL na základě pravděpodobnosti nebezpečného selhání za hodinu (PFHd) je uveden v následující tabulce 2.1.

Tab. 2.1: Vztah mezi SIL a PL [4]

SIL	PL	PFHd [h <sup>-1</sup> ]	poznámka
-	a	$\geq 10^{-5} - < 10^{-4}$	cca 2 roky
1	b	$\geq 3 \times 10^{-6} - < 10^{-5}$	cca 2 - 30 let
1	c	$\geq 10^{-6} - < 3 \times 10^{-6}$	cca 30 - 100 let
2	d	$\geq 10^{-7} - < 10^{-6}$	cca 100 - 1000 let
3	e	$\geq 10^{-8} - < 10^{-7}$	cca nad 1000 let

Norma také udává způsob určení požadované úrovně vlastností (PLr) pomocí rozhodovacího grafu. Splnění požadavků na bezpečnost stroje znamená, že dosažená hodnota PL je vyšší nebo nejméně rovna požadované hodnotě PLr.

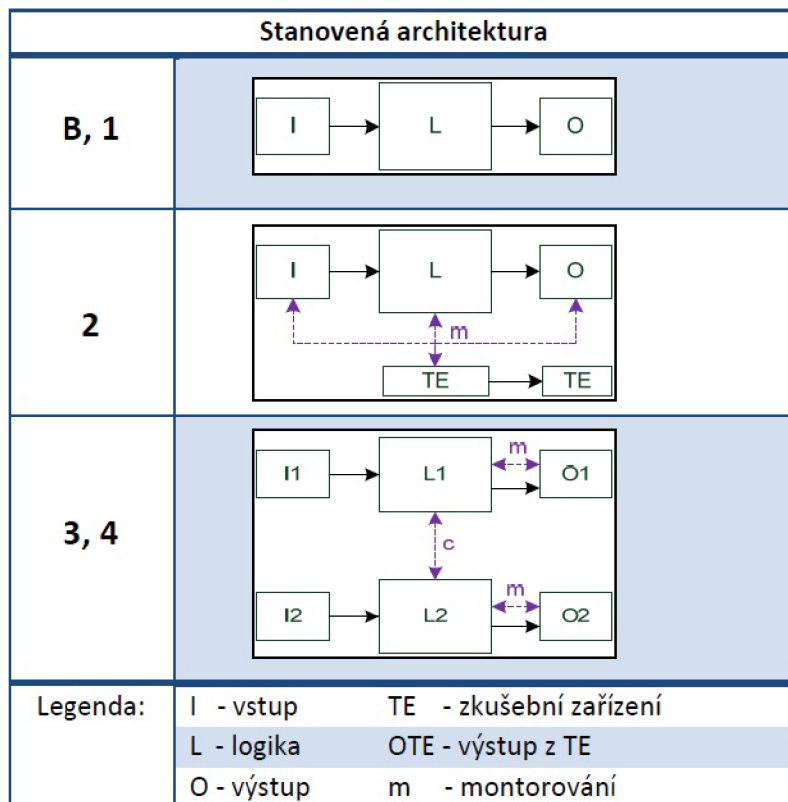


Obr. 2.1: Postup určení PLr [5]

Tab. 2.2: Kritéria určující hodnotu PLr

<b>1</b>	výchozí bod
<b>S - závažnost zranění</b>	
<b>S1</b>	lehká zranění s přechodnými následky (pohmožděliny, tržné rány, lehké zlomeniny)
<b>S2</b>	těžká zranění s trvalými následky (otevřené zlomeniny, amputace) až smrt
<b>F - četnost nebo doba vystavení nebezpečí</b>	
<b>F1</b>	zřídka až málo často (méně než 1x za hodinu) nebo krátká doba vystavení
<b>F2</b>	často až trvale nebo dlouhá doba vystavení
<b>P - možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody</b>	
<b>P1</b>	možné při splnění podmínek
<b>P2</b>	téměř nemožné

Norma definuje pro bezpečnostní funkce několik architektur. Na následujícím obrázku jsou uvedeny některé z architektur. V našem případě použijeme kategorii 3. Tato volba obnáší zdvojené vstupy, výstupy a logické prvky. Porucha kterékoli části bezpečnostního systému nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce, musí být nízké diagnostické pokrytí (DC) a musí být použity opatření proti poruchám se společnou příčinou (CCF) na vícekanálových systémech.



Obr. 2.2: Definované architektury bezpečnostní funkce [6]

## 2.2 Proces dosažení bezpečného stroje

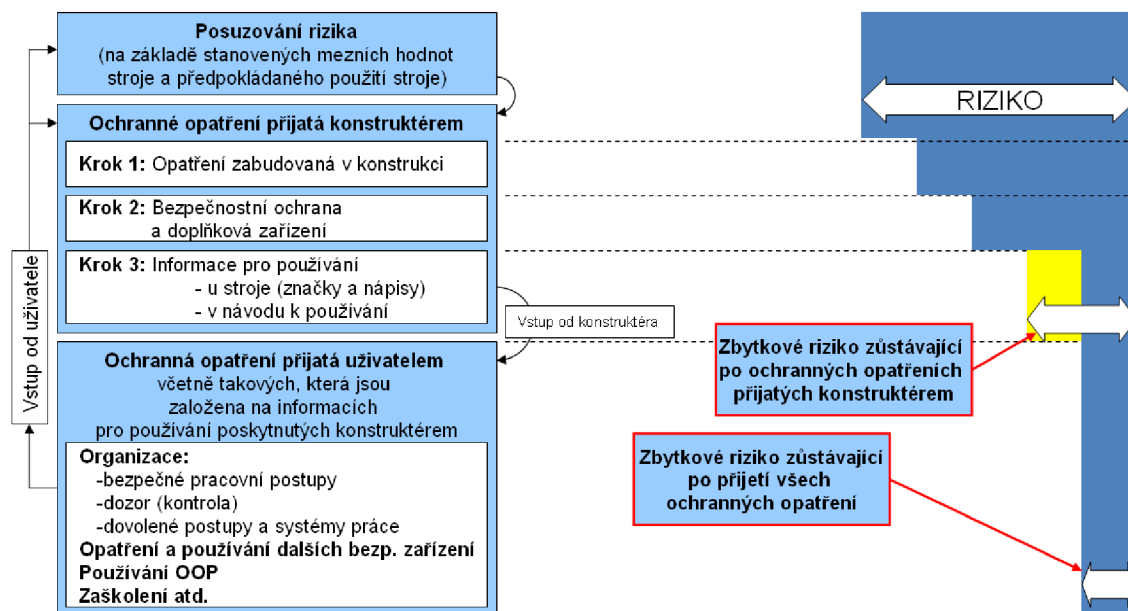
Při analýze rizik se provádějící technik musí zabývat všemi možnými nebezpečnými situacemi a událostmi, které mohou nastat nebo již vznikly při používání stroje. K dispozici musí mít všechny informace a dokumenty k danému strojnímu zařízení. To znamená dokumentaci stroje, informace o provozu zařízení, specifikaci obsluhy, vydané předpisy a návody k použití a také záznamy o úrazech, které mají souvislost s daným zařízením nebo podobnými stroji. Musí brát v úvahu i zkušenosti obsluhy stroje. Posouzení rizikovosti stroje je nutné provést pro všechny fáze životního cyklu zařízení, tj. montáž, převoz, běžný provoz, údržba, demontáž).

Celý proces k dosažení bezpečnosti stroje se obecně dá rozdělit do několika kroků:

1. Diskuze nad navrhovaným strojem, v případě provozovaného stroje jeho obhlídka

2. Analýza rizik
  - (a) Určení mezních hodnot
  - (b) Identifikace nebezpečí
  - (c) Odhad rizika
3. Projekt řešící zjištěná rizika
4. Aplikace projektu
5. Ověření
6. Doplnění dokumentace
7. Vydání prohlášení o shodě

Možností odstranění rizika je hned několik. Na obrázku 2.3 je graficky znázorněn princip snižování rizika pomocí všech dostupných prostředků. Prvním prostředkem, který se snažíme využít v největší míře, jsou konstrukční prvky. Mohou to být změny konstrukce jako takové nebo různé kryty, zábrany. Pokud již nelze riziko snížit konstrukčně, nastupují prvky bezpečnostní ochrany. Tato skupina zahrnuje bezpečnostní relé, programovatelné automaty, snímače, zámky, ventily a jiné. Pomocí těchto prostředků se ve většině případů povede snížit riziko na minimum. Další možnosti ke snížení rizika je použití výstražných a informačních tabulek, nezbytné jsou návody pro obsluhu. I přes použití všech dostupných opatření zůstává často nějaké zbytkové riziko. Tato skutečnost musí být popsána v dokumentaci stroje. Zaměstnavatel je povinen obsluhu stroje prokazatelně proškolit a zároveň je obsluha povinna se s dokumentací stroje seznámit. Předejde se tak případnému poškození zdraví nebo finanční újmě.



Obr. 2.3: Možnosti snížení rizika [5]



## 2.3 Analýza rizik

Jak je zmíněno výše, analýza rizik se provádí podle normy ČSN EN ISO 12100:2011. Riziko je definováno jako kombinace pravděpodobnosti výskytu škody a závažnosti této škody. V případě 2D manipulátoru jsou podstatné pouze dva režimy stroje, a to běžný provoz a údržba. Stroj je již vyroben, smontován a používán. Právě tyto dva režimy jsou de facto jediné používané.

### 2.3.1 Určení mezních hodnot

Manipulátor je umístěn v laboratoři sloužící k výuce programování PLC. Místnost je klimatizována a je v ní udržována čistota. Stroj je využíván výhradně pro bakalářské a diplomové práce studentů. Jeho pracovní vytížení je z tohoto důvodu přibližně 10 hodin týdně během studijních semestrů. Dle normy je nutné, aby poúčený personál prováděl kontrolu bezpečnosti stroje minimálně jednou za rok. Při této kontrole musí být zkontrolována funkčnost všech bezpečnostních prvků (hlavní vypínač, jistící prvky, optická závora, stop tlačítka, bezpečnostní relé, zámek dveří) a také technický stav mechanických částí stroje (kolejnice, utažení šroubů, upevnění ochranných krytů) a elektrických prvků (ovládací tlačítka, kontrolky). Mezi další úkony patří výměna nefunkčních částí stroje, případně vyčištění a promazání příslušných částí (kolejnice, ložiska). Životnost stroje je dána především jeho mechanickými částmi, které nelze snadno vyměnit (např. závitové tyče os). Provozní limity teploty, vlhkosti, prašnosti určují použitá elektrická zařízení (motory, frekvenční měniče, PLC, bezpečnostní relé).

Manipulátor má dva provozní režimy – normální provoz a údržba. V běžném provozu je manipulátor řízen obsluhou navoleným programem a je znemožněn přístup do pracovního prostoru stroje. Při proniknutí objektu do tohoto prostoru, je činnost stroje okamžitě přerušena. Obsluha při práci u stroje bude stát nebo sedět. Ovládání stroje je realizováno pomocí počítače nebo dotykovým panelem. Obsluha musí být prokazatelně seznámena s BOZP a s návodem pro obsluhu manipulátoru. V servisním režimu je elektronicky zablokováno napájení motorů a jsou vyřazeny bezpečnostní prvky bránící přístupu do pracovního prostoru manipulátoru. Zvolení toho režimu je indikováno kontrolkou v přepínači provozních režimů.

Pracovní prostor stroje je ze všech stran obehnán pletivovým krytem. Z přední strany je v krytu otvor pro manipulaci s výrobkem. Otvor je zabezpečen optickou závorou. Na pravé straně krytu se nacházejí dveře pro účely údržby, které jsou zabezpečeny elektronickým zámekem se zpětnou vazbou o jeho stavu.

### 2.3.2 Identifikace nebezpečí

V části analýzy rizik zabývající se identifikací nebezpečí, se snažíme určit všechna předvídatelná nebezpečí a nebezpečné situace. V příloze B výše zmíněné normy se nachází podrobný seznam možných zdrojů nebezpečí a jejich následků. Budeme tedy postupovat podle normy.

#### Nebezpečí

1. Mechanická nebezpečí
  - (a) stlačení vertikální osou manipulátoru
  - (b) stříh pohybujícím se ramenem po kolejnici
  - (c) pořezání nebo odření o části konstrukce
  - (d) navinutí, vtažení nebo zachycení rotující kolejnici
  - (e) bodnutí nebo propíchnutí pracovním nástrojem
  - (f) vymrštění obráběného materiálu frézou
2. Elektrická nebezpečí
  - (a) zásah nebo smrt elektrickým proudem v prostoru rozvaděče
3. Tepelná nebezpečí
  - (a) popálení vymrštěnými částmi obráběného materiálu frézou
4. Nebezpečí hluku
  - (a) nepohodlí vlivem hluku pohybujících se částí
  - (b) nepohodlí, hučení v uších vlivem pískání frekvenčních měničů
  - (c) nepohodlí, únava vlivem hluku obrábění materiálu frézou
5. Nebezpečí vibrací
  - (a) nepohodlí při obrábění frézou
6. Nebezpečí materiálů a látek
  - (a) dýchací potíže vlivem prachu při obrábění frézou
7. Ergonomická nebezpečí
  - (a) nepohodlí, únava, bolest zad vlivem polohy těla při obsluze stroje

#### Nebezpečné situace

8. Seřizování, programování, změna procesu
  - (a) nastavování a seřizování nebo ověřování funkčních parametrů stroje
  - (b) upínání obrobku
  - (c) funkční zkouška
  - (d) montáž/výměna nástroje
  - (e) ověřování programu

9. Provoz
  - (a) upínání obrobku
  - (b) ruční zakládání/vyjímání
  - (c) opětné spuštění stroje po zastavení/přerušení
10. Čištění, údržba
  - (a) čištění
  - (b) montáž/demontáž ochranných krytů
  - (c) mazání
  - (d) výměna opotřebovaných částí
  - (e) kontrola elektrických ovládacích prvků (24V DC)
11. Vyhledávání/odstraňování závady  
shodné se situacemi v bodě 1

### 2.3.3 Vyhodnocení rizika

Při vyhodnocení rizika se musí brát zřetel na závažnost následků a pravděpodobnost výskytu úrazu. Ta závisí na pravděpodobnosti vystavení osoby nebezpečí a nebezpečné události a možnosti vyhnout se úrazu nebo alespoň omezit jeho závažnost.

Nejzávažnějším následkem, který u tohoto stroje může nastat, je smrt po zásahu elektrickým proudem v prostoru rozvaděče. Tato situace může nastat pouze při neodborném zásahu do elektroinstalace stroje a to ještě za předpokladu, že selžou jistící prvky. Počet osob zasažených v jednom okamžiku tímto následkem by byl maximálně jeden. Pravděpodobnost této události je však velmi nízká.

Dalšími závažnými úrazy jsou trvale poškozené horní končetiny. Příčinou těchto úrazů jsou pohyblivé části stroje, kdy může dojít k hlubokým řezným ranám, rozdrcení ruky, ale i k amputaci prstu. Tato nebezpečí jsou již reálná. Avšak vzniknout mohou pouze po odstranění pletivových krytů nebo selhání bezpečnostní techniky při běžné obsluze uvnitř pracovního prostoru stroje, ve které se právě tyto pohyblivé části nacházejí. Opět by takové zranění potkalo pouze jednu osobu v daném okamžiku. Pravděpodobnost těžkého zranění je nízká.

Mezi lehké úrazy lze zařadit odřeniny a drobné řezné rány vzniklé při manipulaci s výrobkem nebo výměnou pracovního nástroje. Zde lze počítat s maximálně dvěma osobami, které budou takto zraněny v téže chvíli, a to osoba obsluhující stroj, případně její pomocník. Pravděpodobnost výskytu těchto zranění je vysoká, protože při běžné obsluze je nutné přistupovat do pracovního prostoru velmi často.

Riziko únavy a z ní pramenící nepozornost, mohou také vézt ke vzniku úrazů. Únavu může způsobit monotónní činnost společně s polohou těla při obsluze manipulátoru a hlukem při provozu stroje. Toto ohrožuje pouze osobu obsluhující tento stroj po delší dobu. Pravděpodobnost výskytu tohoto nebezpečí je středně velká.

Důležité je uvědomit si, že pokud vznikne nebezpečná situace, dojde k úrazu v poměrně krátké době. V případě zásahu elektrickým proudem jsou následky okamžité.

### 2.3.4 Posouzení rizika

Při posuzování rizik je cílem určit, zda je snížení daného rizika podstatné. Dále volíme patřičný ochranný prostředek, abychom požadovaného snížení dosáhli. Tyto prostředky byly již zmíněny dříve. Musíme také brát v úvahu fakt, že použitím ochranného prostředku mohou vzniknout nová nebezpečí, o která se musí doplnit analýza rizik a která musí být také vyhodnocena.

Protože je manipulátor již zkonstruován, nelze do jeho konstrukce zasahovat. Nebezpečí pramenící z pohyblivých částí bylo již dříve sníženo montáží pletivových krytů kolem celé konstrukce stroje. Chybí však ochranné kryty ze spodní strany manipulátoru, kudy lze dosáhnout na pojezd jedné z os. Je zde reálné nebezpečí úrazu prstů. Riziku zásahu elektrickým proudem a neodborného zásahu do elektroinstalace včetně bezpečnostních relé, je zamezeno použitím uzamykatelného rozvaděče. Riziko zásahu el. proudem zůstává z napájení PLC a elektrických zdrojů pro AS-i moduly, které jsou umístěny v přední části manipulátoru, v prostoru vyhrazeného pro obsluhu.

### 2.3.5 Opatření pro snížení rizika

Jak je již zmíněno dříve, je několik možností, jak snížit riziko. V první řadě se snažíme zmenšit riziko pomocí konstrukčních prvků, poté bezpečnostní elektronikou a až v poslední řadě pomocí bezpečnostních informací.

Ke snížení rizika přispívá fakt, že osoby obsluhující manipulátor musí být ze zákona proškoleny pro práci na daném zařízení. Norma ČSN EN ISO 12100:2011 obsahuje rozsáhlý výčet hledisek, faktorů, zásad a opatření, který pomůže vybrat ty nejlepší prostředky snížení rizika pro danou situaci. Norma také u jednotlivých položek uvádí konkrétní normy, které se daným prostředkem zabývají. Následující seznam je orientační výčet vhodných opatření pro manipulátor.

Tab. 2.3: Seznam ochranných opatření [6]

Ochranné opatření	Riziko
Pevné ochranné kryty okolo pracovního prostoru (ČSN EN ISO 13855, ČSN EN ISO 13857) Optická závora a bezpečnostní zámek dveří pro bezpečný přístup do pracovního prostoru (ČSN EN ISO 13855, ČSN EN ISO 13849-1)	1a, 1b, 1d, 1e, 1f, 8a, 8b, 8c, 8d, 8e
Uzamykatelný elektrický rozvaděč	2a
Bezpečnostní programovatelná logika zajišťující bezpečnostní funkce (ČSN EN ISO 13849-1, ČSN EN 60204-1 ed. 2)	1a, 1b, 1d, 1e, 1f, 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, 10b
Správné umístění ovládacích a bezpečnostních prvků, použití židle s nastavitelnou výškou sezení	7a
Používání chráničů sluchu	4a, 4b, 4c
Používání ochranných pomůcek (brýle, oděv) při obrábění frézou	3a, 6a
Gumové podložky pod nohama stroje	5a
Informační, příkazové a výstražné symboly a tabulky (ČSN EN ISO 7010)	1c, 2a
Dokumentace s veškerými informacemi o bezpečnostních funkcích a údržbě stroje, úkony údržby a pracovním návodem pro obsluhující personál (ČSN EN ISO 12100)	1c, 2a, 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, 9a, 9b, 9c, 10a, 10b, 10c, 10d, 10e

## 2.4 Úpravy podle navrhovaných opatření

Bezpečností 2D manipulátoru se již zabýval pan Peňáz[6] ve své diplomové práci. Většina navržených bezpečnostních opatření je tedy realizována. Byly namontovány pevné ochranné kryty z jemného pletiva podle normy ČSN EN ISO 13857. V přední straně stroje se v krytu nachází otvor umožňující obsluze přístup do pracovního prostoru. Ten je chráněn optickou závorou. Na pravé straně se nacházejí dveře pro údržbu. Tyto dveře jsou zabezpečeny bezpečnostním zámkem, který se odemkne pouze v režimu údržby a v případě zastavení stroje z důvodu nouze. Ochranné kryty také zamezují možnému vyjetí ramen z kolejnic, v případě selhání limitních koncových spínačů.

Bezpečnostní funkce jsou nyní realizovány nikoli pomocí bezpečnostního PLC, ale pomocí samostatných bezpečnostních relé MSR57-P. Popis těchto zařízení se nachází v kapitole 3.2.1.

Ovládací prvky (tlačítko reset a přepínač režimů provozu) a nouzové stop tlačítko jsou umístěny na přední straně stroje tak, aby byly snadno dosažitelné obsluhujícím personálem.

Z nerealizovaných opatření můžeme zmínit umístění řídicího PLC a napájecích zdrojů pro sběrnici AS-Interface. Tato zařízení by také měla být umístěna v elektrickém rozvaděči, avšak velikost rozvaděče to neumožňuje. Dále nebyly realizovány snímače, které by detekovaly přítomnost ochranných krytů. Také nejsou namontovány ochranné kryty ze spodní strany stroje.

## 2.5 Ověření bezpečnosti

Pro výběr správných bezpečnostních zařízení, je třeba určit požadovanou hodnotu PLr. Pomocí rozhodovacího stromu na obrázku 2.1 vychází pro manipulátor hodnota PLr d. Postup určení hodnoty je následující. V případě zranění mohou vzniknout trvalé následky, vystavení nebezpečí je časté, avšak za určitých podmínek se lze úrazu vyvarovat. Musíme také znát, jaké bezpečnostní funkce je třeba realizovat a jaká bude vytíženost stroje a jednotlivých prvků.

Na základě těchto údajů určíme pomocí výpočtů uvedených v normě ČSN EN ISO 13849-1 zda navrhované řešení splňuje všechny požadavky bezpečnosti. Protože je tato část projektu velice náročná, existují software, které tuto práci velmi usnadní. Jedním z nich je program SISTEMA, druhým je program Safety Automation Builder.

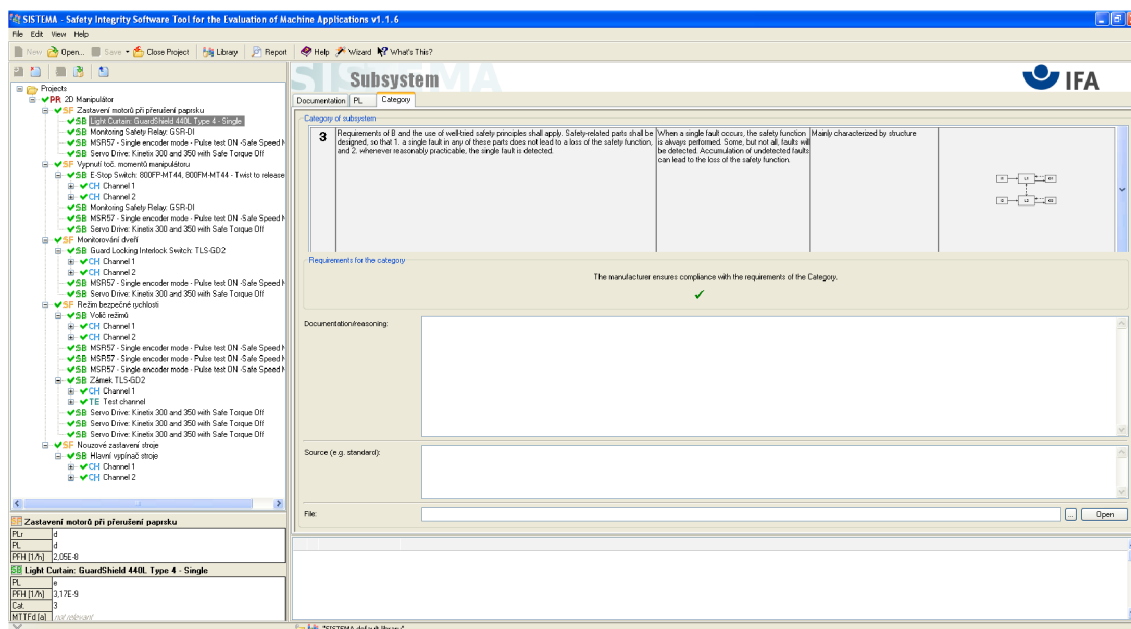
### 2.5.1 SISTEMA

Nástroj pro vyhodnocování dosažené úrovně vlastností SISTEMA (Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications) byla vyvinuta organizací IFA (Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung). Jedná se o německý certifikační institut pro ověřování bezpečnosti. Výhodou tohoto programu je možnost použití knihoven s bezpečnostními prvky různých výrobců.

Pomocí tohoto nástroje lze modelovat struktura celého systému na základě předepsaných architektur, viz kapitola 2.1.3. Tato struktura je zobrazena v levé části okna. Dělí se do několika úrovní:

1. PR – Project: informace o stroji, pro který je analýza prováděna
2. SF – Safety Function: jednotlivé bezpečnostní funkce stroje
3. SB – Subsystem: část nebo části zajišťující samotnou bezpečnostní funkci
4. CH – Channel: oblast systému, počet podle zvolené architektury
5. BL – Block: konkrétní zařízení (snímače, logika, akční prvky)
6. EL - Element: nejnižší úroveň prvků

Tato stromová struktura se vytváří postupně pomocí vstupních dialogů, ve kterých vyplňujeme jednotlivé údaje, jako jsou například vytíženost stroje, požadované PLr, DC, MTTFd. Velkou výhodou použití tohoto programu je okamžité zobrazení výsledku analýzy. Pokud změněme kterýkoli parametr, ihned je vidět vliv na celý systém.



Obr. 2.4: Pracovní prostředí SISTEMA

## 2.5.2 Safety Automation Builder

Pro návrh, zavádění a ověřování kompletního bezpečnostního řešení stroje s produkty firmy Rockwell Automation dobře poslouží volně stažitelný nástroj Safety Automation Builder. Pomocí jednoduchých dialogů v něm lze vytvořit bezpečnostní funkce včetně parametrů konkrétních bezpečnostních zařízení. Program také pomůže vybrat správné zařízení. Nejpodstatnější vlastností tohoto programu je možnost exportování celého návrhu do programu SISTEMA. To nám ušetří zdlouhavé ruční vytváření bezpečnostních funkcí a všech jejich parametrů. Samozřejmostí je možnost dodatečného ručního upravení parametrů.

Prvním krokem při vytváření projektu je vyplnění údajů o zařízení a zadání požadované hodnoty úrovně vlastností PLr. Poté nakreslíme schéma stroje. Z nabídky Rozmístění přidáváme jednotlivé prvky. Kromě znázornění pracovní zóny stroje, jeho ovládacích prvků a piktogramů označujících různá nebezpečí, je zde i prvek nazvaný místo přístupu. Právě v tomto prvku vytváříme bezpečnostní funkce.

Na obrázku 2.5 je uveden příklad bezpečnostní funkce pro optickou závoru. Je potřeba vyplnit název prvku, pojmenovat bezpečnostní funkci a především vyplnit hodnotu P<sub>Lr</sub> a kategorii architektury. V tomto případě je hodnota P<sub>Lr</sub> d a kategorie 3.

Dále se vyplní druh bezpečnostní funkce, spouštěcí událost, reakce na ni a stav stroje v bezpečném stavu. Bezpečnostní funkcí je nouzové zastavení stroje. Po přerušení paprsku optické závory dojde k aktivaci obvodu Safe-Torque Off, tedy k zastavení stroje v kategorii 1 podle ČSN EN 60204-1. Bezpečný stav stroje tedy je odpojení točivého momentu všech tří motorů.

Poté je potřeba vypočítat počet operací za rok, a to pomocí vyplnění kolonek operace za hodinu, počet pracovních hodin za den a počet pracovních dní v roce. Předpokládáme, že přibližně 20-krát za hodinu bude obsluha vyměňovat výrobek, na stroji se bude pracovat 8 hodin denně v průběhu dvou studijních semestrů, tedy 180 dní v roce. V poslední části se volí konkrétní zařízení. Vstupním zařízením je optická závora, signály z ní vyhodnocují dvě logická zařízení, a to relé D22R2 a MSR-57P. Výstupním zařízením jsou frekvenční měniče Kinetix 350.

The image shows the Safety Automation Builder software interface. On the left is a configuration panel for a safety function. The 'Místo přístupu' (Access Point) is 'Optická závora'. The safety function is 'SF-1 Zastavení motorů při přerušení paprsku'. The 'Povinná pole jsou označena \*' (Required fields are marked with \*) section includes: Performance Level 'PLr - d', Category '3', Type 'Funkce nouzového zastavení iniciovaná bezpečnostním', Triggering Event 'Přerušení paprsku optické závory', Reaction 'Zastavení stroje v kat.1 dle ČSN EN 60204-1', and Safe State 'Vypnutí točivý moment motorů 1-3'. A table shows operation statistics: 20 operations per hour, 8 hours per day, 180 days per year, and 28800 operations per year. Below are lists of input, logic, and output devices.

Operace Za hodinu *	Hodiny Za den *	Dny Za rok *	Operace Za rok
20	8	180	28800

**Vstupní zařízení \***  
440L-PL03640YD

**Logická zařízení \***  
440R-D22R2  
440R-S84EAER-NNL  
440R-S84EAER-NNL  
440R-S84EAER-NNL

**Výstupní zařízení \***  
2097-V33PR3-LM  
2097-V33PR3-LM  
2097-V33PR3-LM

On the right is a 2D schematic of a '2D Manipulátor'. It features a 'Kryt' (Cabinet) with a 'Dveře' (Door) on the right. Inside, there are four warning icons: 'Rozdrození' (Fragmentation), 'Rotující hřídel' (Rotating shaft), 'Stlačení (Vlákání ruky)' (Crushing (Hand pulling)), and 'Řez dlaně' (Hand cutting). The schematic also shows an 'Optická závora' (Optical sensor) at the bottom, and external components: 'Úraz el. proudem' (Electrical shock), 'El. rozvaděč' (Electrical switchgear), 'Hlavní vypínač' (Main switch), 'Úraz el. PLC proudem' (Electrical shock PLC), 'Úraz el. zdroje 24V proudem' (Electrical shock 24V source), 'E-STOP', and 'Obsluha' (Operator).

Obr. 2.5: Pracovní prostředí Safety Automation Builder



## 3 OBNOVA ELEKTROINSTALACE 2D MANIPULÁTORU

Na 2D manipulátoru již pracovalo několik studentů, kteří provedli určité změny konstrukce a především změny v elektroinstalaci stroje. Například byly přidány elektronické bezpečnostní prvky, které zajišťovaly odpojení napájení v případě ohrožení obsluhy. Protože tyto zásahy do stroje neprobíhaly komplexně, nebyl výsledný stav optimální. A to i přesto, že zařízení bylo funkční. Hlavním cílem této diplomové práce proto byla obnova elektroinstalace manipulátoru. Původní elektroinstalační a řídicí prvky byly odstraněny a byly nahrazeny novými, které splňovaly veškeré požadavky. Tato zařízení i s odůvodněním jejich použití jsou popsány v následujících podkapitolách.

### 3.1 Pohon

K řízení servomotorů původně sloužily měniče typu Kinetix 2000. Ty však nesplňovaly bezpečnostní požadavky na odpojení napájení motorů při porušení bezpečnosti. Proto byly vybrány měniče Kinetix 350, které mají bezpečnostní funkci Safe Torque-off. Ta po aktivaci bezpečnostních podmínek odpojí výstup pro napájení motorů. Dále obsahuje vstup zpětné vazby od motoru, výstup pro brzdu motoru a vstup/výstupní konektor. Do tohoto konektoru jsou přivedeny signály ze snímače home pozice a bezpečnostních koncových spínačů. Měnič komunikuje s řídicím PLC pomocí síťového rozhraní Ethernet/IP. Každý motor ovládá jeden měnič. Jsou tedy zapotřebí tři identické měniče. Ty jsou umístěny v rozvaděči. Protože při jejich provozu mohou vznikat relativně velké proudové špičky, jsou napájeny přes síťový filtr 2097-F5.



Obr. 3.1: Měnič [7], AC filtr [8]

## 3.2 Bezpečnostní prvky

Podmínky pro bezpečnost zařízení stanovuje legislativa formou norem. Obsahu norem a posouzení rizik je věnována samostatná kapitola. V předchozím stavu modelu byl ústředním bezpečnostním prvkem řídicí automat s bezpečnostním procesorem. Bezpečnostní podmínky byly vyhodnocovány na základě programu, který konstruktér naprogramoval pro bezpečnostní procesor. Nyní jsou použita speciální bezpečnostní relé, která mají předdefinované určité bezpečnostní funkce. Eliminujeme tím tak možnost chyby konstruktéra při tvorbě bezpečnostního programu. Následující podkapitoly představují použité bezpečnostní komponenty.

### 3.2.1 Bezpečnostní relé

Protože všechny řídicí a řízené prvky jsou od výrobce Allen-Bradley, bylo vybráno pro realizaci bezpečnostní funkcí řešení od stejného výrobce. Tím je zaručena kompatibilita všech komponent. Použité relé je typu Guard-Master MSR-57P. Umožňuje pulzně testovat dvoukanálové bezpečnostní okruhy, tj. kontakty stop tlačítek, optické závory a monitorování zámku dveří. Po jeho přerušení nebo naopak zkratu dojde k aktivaci bezpečnostního relé. Dále má vstup pro přepínač režimů stroje, vstupy a výstupy pro ovládání bezpečnostního zámku dveří a výstup sloužící k připojení k měniči pro funkci Safe Torque-off. Relé obsahuje také vstup pro enkodér, pomocí kterého monitoruje rychlost motoru.

Abychom dosáhli co nejvyšší bezpečnosti, využíváme u bezpečnostního relé MSR-57P pulzní testování bezpečnostního okruhu. Je pak ale nezbytné, aby všechny prvky v tomto okruhu měly spínací nebo rozpínací kontakty. Ovšem výstupy z optické závory jsou typu OSSD, tedy napěťové. Nelze je proto přímo připojit k bezpečnostnímu relé. Pro realizaci bezpečnostního obvodu je nutné využít vícevstupé bezpečnostní relé 440R-D22R2. Toto relé obsahuje vstupy pro nouzové tlačítko a OSSD vstupy, které jsou použity pro připojení optické závory. Mezi těmito vstupy realizuje logickou funkci AND a na základě stavu těchto vstupů ovládá vnitřní kontakty, které jsou zapojeny do pulzně testovaného okruhu ústředního bezpečnostního relé.



Obr. 3.2: GuardMaster MSR-57P [9], GuardMaster 440R-D22R2 [10]

### 3.2.2 Ostatní bezpečnostní prvky

Dveře jsou vybaveny bezpečnostním zámkem TLS1-GD2. Tento zámek lze otevřít pouze při přivedení napájení – funkce power to release. Pokud je stroj vypnut, není možné zámek otevřít. Obsahuje dvě dvojice kontaktů NC a NO pro monitorování cívky zámku a samotného zámku. Dále má vstup pro ovládání cívky zámku. K jeho ovládání a kontrole stavu slouží bezpečnostní relé.



Obr. 3.3: Zámek TLS1-GD2 [11], závora 440L POC GuardShield Type 4 [12]

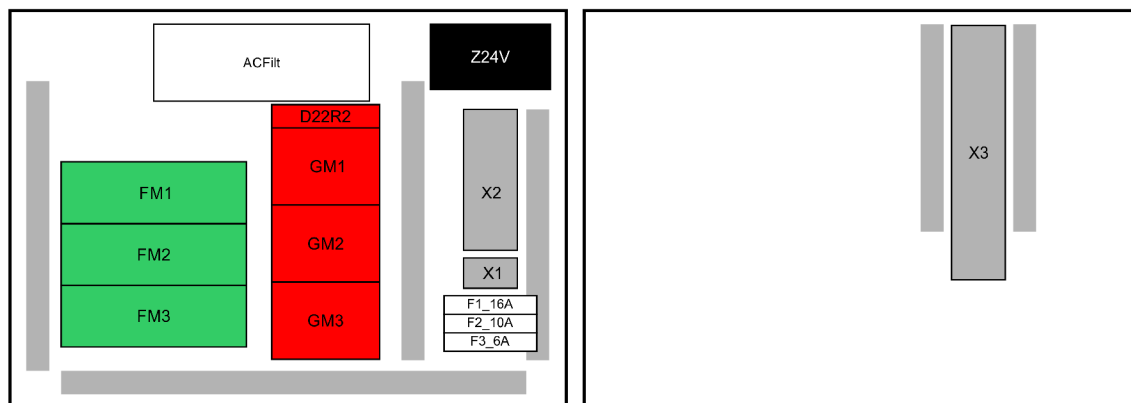
Jak je uvedeno dříve, vstupní otvor do manipulačního prostoru pro obsluhu hlídá optická závora 440L POC GuardShield Standart Type 4. Tato závora má rozlišení 14 mm a délku 480 mm. Pro připojení k ústřednímu bezpečnostnímu prvku slouží výstupy OSSD. Dalšími bezpečnostními prvky je stop tlačítko. To musí být umístěno tak, aby bylo snadno a rychle dosažitelné pro obsluhu. Nouzové tlačítko je tedy umístěno v přední části stroje u vstupního otvoru do manipulačního prostoru. Zde je také umístěno resetovací tlačítko a přepínač režimů stroje. Těmito režimy jsou běžný provoz a údržba.



Obr. 3.4: Stop tlačítko, tlačítko reset a přepínač režimů

### 3.3 Rozvaděč

V příloze B jsou uvedena veškerá elektrotechnická schémata zapojení komponentů v rozvaděči, včetně zapojení tří svorkovnic. Na obrázku 3.5 je blokově znázorněno umístění nových komponent v rozvaděči.



Obr. 3.5: Umístění komponent v rozvaděči

Rozvaděč je napájen síťovým napětím 230V. Přívod elektrické energie je ovládán hlavním vypínačem, který je umístěn na horní stěně rozvaděče. V rozvaděči je přívod jištěn 16-ti ampérovým jističem F1 a až poté je připojen na svorkovnici X1. Z této svorkovnice je napájení dále větveno pomocí svorkovnice X2. Bezpečnostní a ovládací komponenty vyžadují napájení 24V. K tomu slouží 24V zdroj umístěný v pravém horním rohu rozvaděče. Zdroj obsahuje dva výstupy 24V a je napájen přes 6-ti ampérový jistič F3 napětím 230V. Napětí z tohoto zdroje je dále rozváděno pomocí svorkovnice X3.

Zeleně jsou zvýrazněny tři frekvenční měniče Kinetix 350. Všechny tři jsou napájeny napětím 230V přes jeden společný síťový filtr. Ten je umístěn nad měniči a je znázorněn obdélníkem bílé barvy. Filtr je napájen přes 10-ti ampérový jistič F2 síťovým napětím 230V.

Červeně jsou znázorněna bezpečnostní relé Guard Master MSR-57P a D22R2. Ta zajišťují veškeré bezpečnostní funkce stroje. Jsou napájena ze zdroje 24V. Na tato relé jsou dále připojena bezpečnostní a ovládací tlačítka, optická závora a zámek dveří. Výstupy z těchto relé jsou pak přivedeny do příslušných měničů a do řídicího PLC.

### 3.4 Konfigurace zařízení

V rámci konfigurace bezpečnostních modulů MSR-57P bylo nejprve nutné zvolit zapojení, které vyhovuje požadavkům použití. Protože se po porušení bezpečnostních podmínek musí zastavit celý stroj, tzn. všechny tři motory, bylo výhodné použít zapojení do kaskády. Od toho se odvíjí i následná software konfigurace modulů. Zařízení jsou zapojena tak, že do jednoho relé vstupují všechny výstupy z bezpečnostních prvků (optická závora, stop tlačítko, monitorovací obvod bezpečnostní zámek dveří a volič režimů) a druhé relé je zapojeno na jeho výstupy, třetí relé na výstupy druhého. Master vyhodnocuje bezpečnostní podmínky, zbylé dvě relé jsou zapojeny jako slave a řídí se podle stavu hlavního relé. V našem případě je master relé GM1. Poslední relé v kaskádě ovládá vstupní obvod bezpečnostního zámku.

Volič režimů uvádí bezpečnostní relé do režimu bezpečné rychlosti neboli SLS. Limit bezpečné rychlosti je nastaven na nulovou rychlost. Lze jej tedy použít jako servisní režim. Pokud se by se v tomto režimu začaly motory otáčet, automaticky dojde k jejich odpojení a nedojde tak k ohrožení servisního technika.

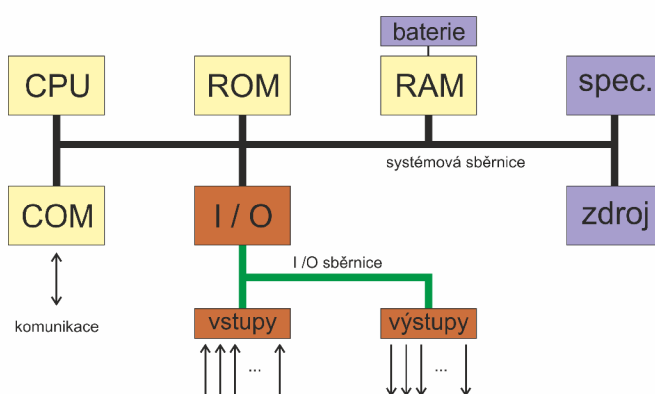
U frekvenčních měničů spočívala prvotní konfigurace v nastavení IP adres pomocí tlačítek na zařízeních. Adresa se cyklicky zobrazuje na zabudovaném displeji. Další konfigurace se provádí ve vývojovém prostředí RSLogix 5000 v rámci konfigurace automatu. Po provedení HW konfigurace měničů, je potřeba nastavit ještě několik parametrů, které se mohou nastavit různě dle potřeb programátora. Musíme zjistit polaritu servomotoru a nastavit ji tak, aby když dáme ramenu povel dopředu, se rameno pohybovalo dopředu a ne dozadu. Abychom mohli používat souřadnicový systém, je po každém zapnutí potřeba měnič „naučit“ nulovou polohu. Musíme tedy nastavit tzv. homing. Nastavuje se směr pohybu a jeho rychlost. Nulová poloha je detekována indukčním snímačem připojeným na vstup příslušného měniče. Dále je vhodné přepočítat počet impulsů na otáčku na konkrétní délkové jednotky, např. milimetry.

### 3.5 Řídicí systém

Pro řízení jednotlivých strojů, výrobních linek, ale i celých technologických procesů se v dnešní době nejvíce používají programovatelné automaty. Jedná se o zařízení, která zpracovávají a vyhodnocují signály přiváděné na jejich vstupy. Signály pocházejí ze snímačů, ovládacích prvků nebo i z jiných automatů. Mohou být jak digitální, tak i analogové. PLC obsahuje programovatelnou paměť sloužící pro uložení uživatelského programu. Na základě sekvenčních logických a časových funkcí v tomto programu ovládá pomocí svých výstupů jednotlivé akční členy a/nebo poskytuje své výsledky ostatním automatům a nadřazeným systémům.

Oproti dříve používaným reléovým systémům jsou PLC ze svého principu mnohem spolehlivější a tedy i bezpečnější. Díky své podstatě vylučují nestandardní stavy. Možnost online diagnostiky napomáhá k rychlému odhalení chyby a jejího odstranění. To přispěje ke zkrácení odstávek stroje a snížení finančních nákladů s tím spojených.

Na obrázku 3.6 je blokově znázorněno vnitřní uspořádání programovatelného automatu. PLC lze v podstatě rozdělit na tři základní části. První z nich jsou bloky zpracování informace a paměť (žluté), vstup/výstupní obvody (červené) a podpůrné a doplňkové obvody (fialové). Jednotlivé části jsou mezi sebou propojeny vnitřní sběrnicí umožňující výměnu dat mezi nimi.



Obr. 3.6: Vnitřní struktura PLC [13]

V programovatelném automatu je cyklicky prováděn uživatelský program. Jednomu průchodu programem se říká sken. Jeden sken se skládá z několika činností, jejichž posloupnost je následující:

1. paralelní načtení vstupů - uložení do obrazu vstupů do paměti RAM
2. sériové zpracování programu - čtení obrazu vstupů a dle programu zápis hodnot do obrazu výstupů v paměti RAM
3. paralelní nastavení výstupních signálů - přepis obrazu výstupů

### 3.5.1 Použité PLC

Výběr programovatelného automatu závisel především na skutečnosti, že všechny použité komponenty jsou od firmy Rockwell Automation. Dále musel být brán zřetel na použité servoměniče Kinetix 350. Dosavadní řídicí systém GuardLogix 1756-L62S sdružoval programovou a bezpečnostní funkci. To v případě použití bezpečnostních relé GuardMaster již není potřeba. S ohledem na tyto požadavky bylo vybráno PLC Allen-Bradley CompactLogix 5370 L3. Výrobce udává, že právě tento automat je ideální pro řízení měničů Kinetix 350.



Tento model obsahuje 3MB uživatelské paměti a možnost vložit až 2GB SD kartu jako flash paměť. Umožňuje připojení až 960 vstup-výstupních uzlů a maximálně 16 pohybových os. Dále je vybaven duální síťovou kartou pro rozhraní Ethernet/IP a oproti starším modelům je pro nahrávání firmware a uživatelského programu místo rozhraní RS232 použit USB port.

Napájení celé sestavy řídicího systému zajišťuje zdroj 1769-PA2. Lze jej napájet jak napětím dle amerického standardu 120V, tak i evropskými 230V. Poskytuje stejnosměrná výstupní napětí o voltáži 5V / 2A a 24V / 0,8A.

Součástí řídicího systému jsou také rozšiřující moduly digitálních vstupů a digitálních výstupů. Modul digitálních vstupů 1769-IQ32 obsahuje 32 digitálních vstupů s napětovou úrovní 24V stejnosměrných. Modul digitálních výstupů 1769-OB16P poskytuje 16 chráněných digitálních výstupů o stejnosměrném napětí 24V.

Do sestavy byl zahrnut také modul BWU1416 od firmy Bihl + Wiedemann. Tento modul slouží jako master stanice pro komunikaci se zařízeními po sběrnici AS-Interface. Díky integraci tohoto modulu do HW konfigurace jsou vstup-výstupní data a stavové informace namapovány přímo do oblastí proměnných procesoru.



Obr. 3.7: Programovatelný automat CompactLogix 5370 L3

## 4 MODEL LABYRINTU

Autorem modelu labyrintu je pan Petr Zbranek[14], který jej v roce 2011 navrhl a vyrobil jako svou bakalářskou práci. Původní určení tohoto zařízení je hra bludiště. Labyrint tvoří 9 polí v rozmístění 3x3. Principem hry je takový, že hráč musí projít přes pole v labyrintu v určitém pořadí. Díky rozložení hrací plochy na čtverce a množství indikačních prvků, které budou zmíněny dále, lze tento model využít například i pro hraní piškvorek nazývaných Tic-Tac-Toe. Jedná se o typ hry, kdy je hrací plocha rozdělena právě na 3x3 pole a vítězí hráč, který dokáže umístit tři své značky do řady. Právě takto je model labyrintu využit v této práci pro demonstraci funkčnosti zmodernizované elektroinstalace 2D manipulátoru.

### 4.1 Konstrukce

Kostra modelu je sestavena z hliníkových profilů 40x80L, které tvoří okraje hrací plochy. Vnitřní hrací plochu tvoří plechová deska o rozměrech 30x30 cm. Ta je černou páskou rozdělena na 9 polí v rozložení 3x3. V každém poli se nacházejí dvě světelné diody, jedna červená a jedna zelená. Kostra je na přední straně rozšířena o další hliníkový profil, který slouží jako startovací box pro hráče. Na horní straně kostry jsou upevněny světelné závory, které indikují přechod mezi poli a také přítomnost hráče ve startovacím boxu. Z vnější strany kostry jsou uchyceny DIN lišty s elektronikou labyrintu. Touto elektronikou jsou myšleny moduly typu slave, které komunikují s řídicím PLC po sběrnici AS-Interface.

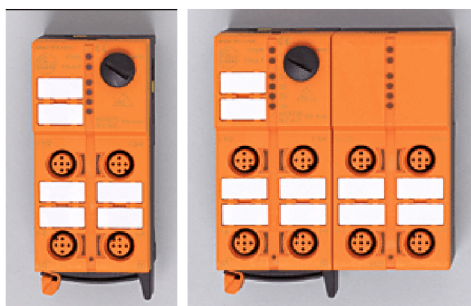


Obr. 4.1: Model labyrintu



## 4.2 Elektronické komponenty

Na modelu labyrintu se nacházejí komponenty, které je třeba ovládat, ale také komponenty, jejichž signál je nutné vyhodnocovat. Všechny vstupní i výstupní signály jsou digitální. Vstupní signály poskytují optické závory pro indikaci přechodu mezi poli a přítomnosti hráče ve startovacím boxu. Optických bran je 6. Dalšími vstupními signály jsou 2 tlačítka umístěná z přední strany rámu. Celkem je na modelu umístěno 8 vstupních zařízení. Výstupních signálů je dohromady 20. 18 z nich tvoří červené a zelené LED na hracích polích a červená a zelená LED ve zmíněných tlačítkách.



Obr. 4.2: Moduly digitálních výstupů AC5213 [15] a vstupů AC5210 [16]

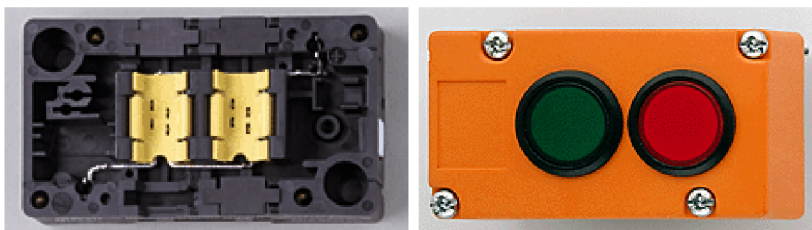
Pro ovládání 18 světelných diod na hrací ploše je použito 5 modulů digitálních výstupů AC5213. Každý obsahuje 4 výstupy a na sběrnici zabírá pouze 1 adresu.

Pro zpracování digitálních vstupů je použit dvojitý modul AC5210. Obsahuje 2x4 binárních vstupů. Na sběrnici zaujímá 2 adresy. Hodnoty vstupních signálů dále poskytuje zařízení master. V našem případě jsou na něj přivedeny signály z vyhodnocovacího systému optických bran.



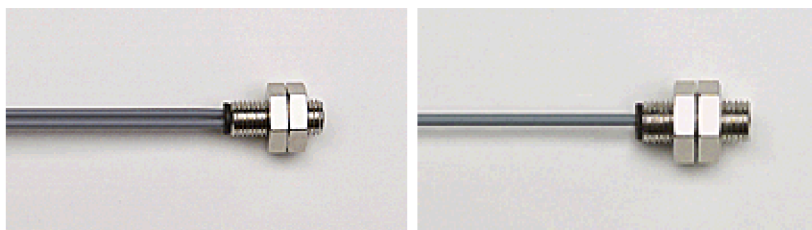
Obr. 4.3: Modul pro optické brány OV5012 [17]

Modul OV5012 slouží pro vyhodnocení signálů z optických bran. Vysílací svorky slouží pro připojení vysílače optické brány, svorky přijímací pak pro připojení snímače optického paprsku. Dále modul obsahuje výstupní svorky, které poskytují binární informaci o stavu brány. Těmito výstupy je připojen na vstupní modul AC5210.



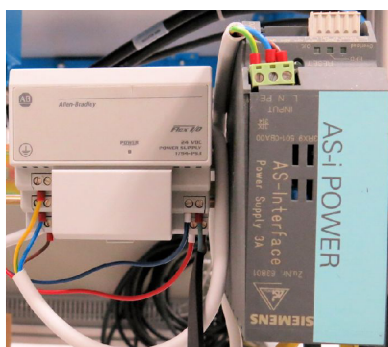
Obr. 4.4: Spodní díl AC5000 [18], horní díl s tlačítky AC2088 [19]

Spodní modulový díl FC AC5000 a aktivní horní modulový díl AC2088 společně tvoří jednoadresový vstupní a výstupní tlačítkový modul. Obsahuje dvě tlačítka a jejich podsvětlení červenou, respektive zelenou barvou.



Obr. 4.5: Reflexní snímač OE0004 [20], vysílač OE0003 / přijímač OE0002 [21]

Na modelu labyrintu jsou použity dvě metody vytvoření optické brány. Pro startovací box jsou použity dva reflexní snímače OE0004. Obsahují v jednom pouzdře jak vysílač, tak i přijímač. Čidlo je nasměrováno proti odrazové ploše. Druhou variantou je použití samostatného vysílače OE0003 a přijímače OE0002 umístěných naproti sobě. Tato druhá varianta je použita 4x pro detekci přechodu na jiné hrací pole.



Obr. 4.6: Napájecí zdroj AS-i POWER

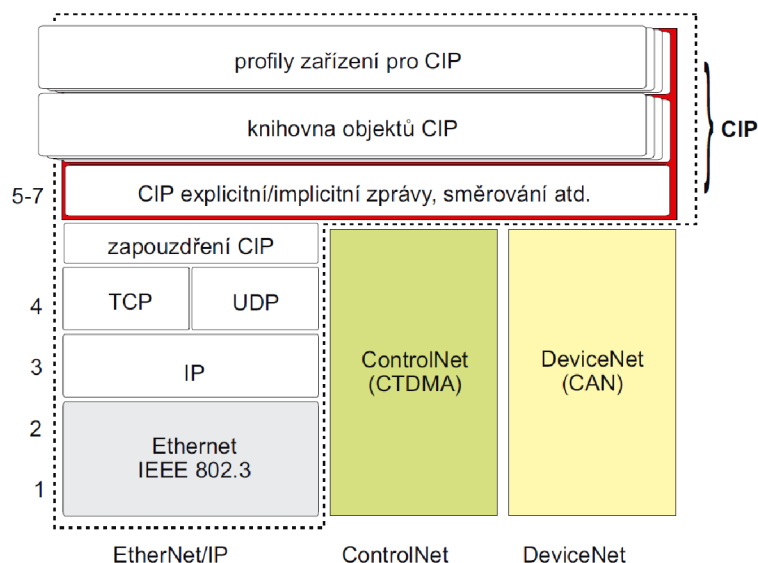
Pro napájení sběrnice AS-i slouží zdroj AS-i POWER od firmy Siemens. Zdroj je napájen ze sítě 230V, jeho výstupní napětí je 30V, proud max. 8A. Pomocné napájení pro jednotky slavy zajišťuje 24V zdroj Flex I/O od výrobce Allen-Bradley. Je napájen síťovým napětím 230V, výstupní proud je až 3A.

## 5 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

### 5.1 Ethernet/IP

Průmyslový komunikační protokol EtherNet/IP (IP = Industry Protocol) je založen na standartu Ethernet TCP/IP (zde IP = Internet Protocol). Z toho plyne jeho největší výhoda, a to možnost používat běžně dostupné technické a programové prostředky pro rychlost od 10 Mb/s do 1 Gb/s.

Je zcela kompatibilní se sítí Ethernet podle normy IEEE 802.3. Využívá nijak nezměněné vrstvy komunikačního modelu Ethernetu TCP/IP, pouze její aplikační úroveň je rozšířena o objektově orientovaný protokol CIP (Common Industrial Protocol). V rámci protokolu CIP je každému uzlu v síti přidělen tzv. profil. Jedná se o předem definované typy zařízení s jejich vlastnostmi a funkcemi. Tento protokol je používán i v jiných průmyslových sítích jako je DeviceNet nebo ControlNet, což umožňuje komunikaci mezi těmito sítěmi i přesto, že používají jiné standardy pro nižší vrstvy komunikačního modelu. Zařízení mezi sebou komunikují v režimu producent-konzument. Na obrázku 5.1 je znázorněn komunikační model pro tyto tři sítě. Lze vidět odlišné vrstvy 1 – 4 a společnou složenou vrstvu CIP.



Obr. 5.1: Komunikační model používaných sběrnic [22]

V protokolu CIP je každé zařízení reprezentováno skupinou objektů. Objekt definují atributy (data), služby (příkazy) a funkce (reakce na události). Objekty lze rozdělit do tří skupin – povinné, aplikační a dané výrobcem. Povinnými objekty jsou: objekt definující zařízení, objekt specifikující předávání zpráv, objekt pro správu spojení a objekt s konfigurací komunikační sítě. Aby se poznalo, jaké objekty jsou pro dané

zařízení definovány, je ke každému zařízení sestaven elektronický popis, tzv. EDS. Jedná se o obyčejný textový soubor, který používají nástroje pro konfiguraci sítě. EDS obsahuje typ a verzi popisu, identifikační údaje a parametry pro konfiguraci sítě.

### 5.1.1 Způsob komunikace

EtherNet/IP využívá pro komunikaci standartní protokoly TCP a UDP. Existují zde však dva druhy přenosu dat – explicitní a implicitní. Explicitní přenos slouží pro přenosy typu žádost-odpověď mezi uzly sítě. Je realizován pomocí protokolu TCP. Implicitní přenos je naopak řešen protokolem UDP a slouží pro cyklický přenos uživatelských dat nebo I/O dat.

Dále se rozlišuje komunikace spojovaná a nespojovaná. Spojovanou komunikací je spojení na bázi protokolu CIP, slouží pro přenos rezervovaných zpráv, I/O dat nebo explicitních zpráv. Nespojovaná komunikace slouží pro navázání spojení s CIP protokolem nebo pro přenos nepravidelných zpráv.

Komunikační model producent-konzument napomáhá k vyšší efektivitě využití komunikačního kanálu. Konzument, tedy zařízení, které potřebuje číst data, se o jejich zaslání přihlásí pouze jednou a producent, zařízení které data poskytuje, je od té chvíle bude pravidelně konzumentovi zasílat.

Protokol EtherNet/IP rozlišuje tři druhy zařízení. Messaging Class jsou zařízení, která podporují přenos pouze explicitních zpráv. Jsou to zařízení pro konfiguraci, parametrizaci nebo diagnostiku. Adapter Class jsou zařízení zpracovávající data v reálném čase, která však nemohou sama navazovat spojení. Typicky jsou to vzdálené I/O periferie. Poslední skupinou zařízení jsou Scanner Class. Jsou to řídicí zařízení, např. programovatelné automaty, která zřizují spojení s ostatními zařízeními.

Tato síť není určena pro komunikaci v reálném čase. Používá pouze základní mechanismy jako je rozdělení kolizních domén pomocí switchů a oddělení segmentů sítě. Pro realizaci náročnějších úloh, např. řízení pohonů pomocí CIP Motion, je EtherNet/IP vybaven objektem CIP Sync. Ten řeší synchronizaci pomocí distribuovaných hodin dle standardu IEEE 1588. Je však nutné použít další zařízení splňující tento standard, které je schopné vkládat časovou známku do odesílaných paketů.

Rozšíření CIP Safety umožňuje bezpečnou komunikaci mezi dvěma zařízeními podle normy IEC 61508. Tento protokol je certifikován k použití až do úrovně SIL 3. [22]

## 5.2 AS-Interface

Průmyslová sběrnice Actuator Sensor Interface (zkráceně AS-i) je poměrně nová síť. Byla navržena počátkem 90-tých let za spolupráce několika výrobců automatizační techniky. Je určena pro komunikaci mezi snímači a akčními členy na úrovni řízení strojů především s binárními vstupy a výstupy. Sběrnice stále prochází vývojem. Definovány jsou tři verze sítě – 1.0, 2.1 a 3.0. Níže budou vypsány parametry pro specifikaci 2.1.

### 5.2.1 Parametry sítě

Tab. 5.1: Parametry sítě AS-Interface

<b>Typ sběrnice:</b>	master-slave
<b>Adresace:</b>	jeden master, 0 – 31 adres sdílí dvě zařízení slave A/B, tzn. 62 slave jednotek
<b>Topologie:</b>	sběrnice, strom, hvězda, kruh
<b>Médium:</b>	nekroucený nestíněný dvou vodičový profilovaný kabel s izolací pro napájení i přenos dat, umožňuje snadné připojení formou penetrace kontaktů přímo do žil kabelu
<b>Napájení:</b>	24V DC, maximální odběr celé sítě 8A
<b>Délka sítě:</b>	100m nebo 300m s opakovači
<b>Počet I/O:</b>	slave má 4 binární vstupy a až 4 binární výstupy, analogové signály lze přenášet pomocí několika cyklů
<b>Přenosová rychlost:</b>	167 kb/s
<b>Způsob komunikace:</b>	cyklický polling
<b>Cyklus sítě:</b>	závisí na počtu připojených slave, při 62 slave <10ms
<b>Profily slave:</b>	255 profilů pro zařízení slave

Zařízení slave je definováno svým profilem, konfigurací vstupů a výstupů (IO Code) a identifikačním číslem daným výrobcem (ID Code). Profil je určen jako IO Code + ID Code.

Stanice Master zajišťuje inicializaci sítě, identifikaci připojených zařízení a nastavení parametrů všech stanic slave. Pokud dojde k odpojení jednotky slave a připojení nové, má tato jednotka adresu 0. Master jí musí přiřadit novou adresu.

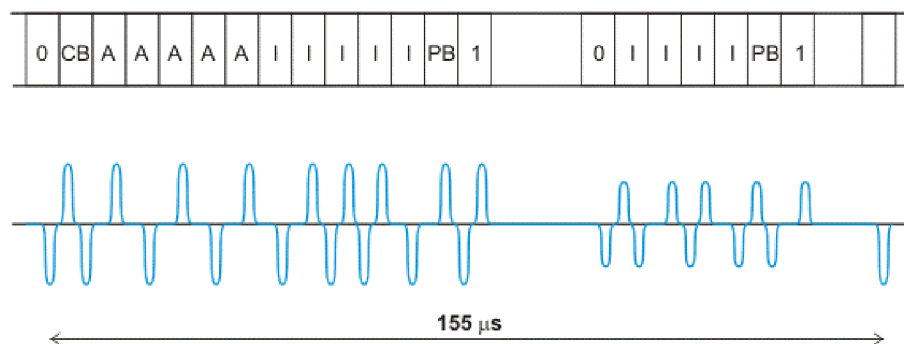
## 5.2.2 Princip komunikace

Signál je modulován metodou AMP (Alternating Pulse Modulation). Proud bitů je nejprve zakódován kódem Manchester, z něj je pak generován proudový signál, který reaguje na změny úrovně napětí v zakódovaném signálu. Tento proudový signál se díky indukčnosti vedení transformuje na napětí. Každá změna proudu vyvolá napěťový impuls. Kladná změna vyvolá záporný impuls napětí, záporná změna kladný. Aby se předešlo rušení, mají impulsy tvar sin<sup>2</sup>. Přijímač v zařízeních napěťový signál snímá a rekonstruuje jej na sled bitů. Příchodem prvního záporného napěťového impulsu dochází k synchronizaci přijímače.

Stanice master postupně vyzývá jednotlivé slave jednotky, které musí na výzvu vždy odpovědět. Na obrázku 5.2 jsou znázorněny rámce výzvy masteru (první blok bitů) a odpovědi slave (druhý blok bitů).

Tab. 5.2: Rámce komunikace AS-Interface

Výzva master	Odpověď slave
Start bit – log. 0	Start bit – log. 0
Řídicí bit	Data - 5 bitů
Adresa - 5 bitů	Paritní bit
Data - 5 bitů	Stop bit - log. 1
Paritní bit	
Stop bit - log. 1	



Obr. 5.2: Komunikace po sběrnici AS-Interface [23]

Díky využití apriorních informací z přenosu lze snadno detekovat chyby v komunikaci. Těmito informacemi například jsou: kontrola parity, nesprávná polarita start nebo stop bitu, nesprávná polarita pulsu (musí se střídat), dlouhá prodleva mezi pulsy, špatná délka zprávy nebo úplně chybějící zpráva (žádná odpověď od jednotky slave nebo master nevyzývá slave stanice). Při poškození telegramu se opakuje jeho vysílání.



Používá se několik typů přenosu dat:

typ 1 – I/O data a parametry

typ 2 – full duplex přenos sériových binárních dat

typ 3 – přenos 4I/4O dat nebo 8I/8O dat

typ 4 – přenos 16 bitové analogové hodnoty

typ 5 – určen pro rychlé vstupy a výstupy

### **5.2.3 Safety at Work**

V rámci standartu sběrnice AS-i vznikla i specifikace bezpečných systémů využívajících tuto sběrnici. Safety at Work definuje bezpečné vstupy a bezpečné akční členy. Výhodou je možnost kombinovat bezpečnostní systém s běžnými zařízeními slave a je kompatibilní se standartními AS-i mastery i AS-i zdroji. Díky tomuto není nutné používat bezpečnostní PLC. Počet bezpečnostních slave jednotek je omezen na 31.

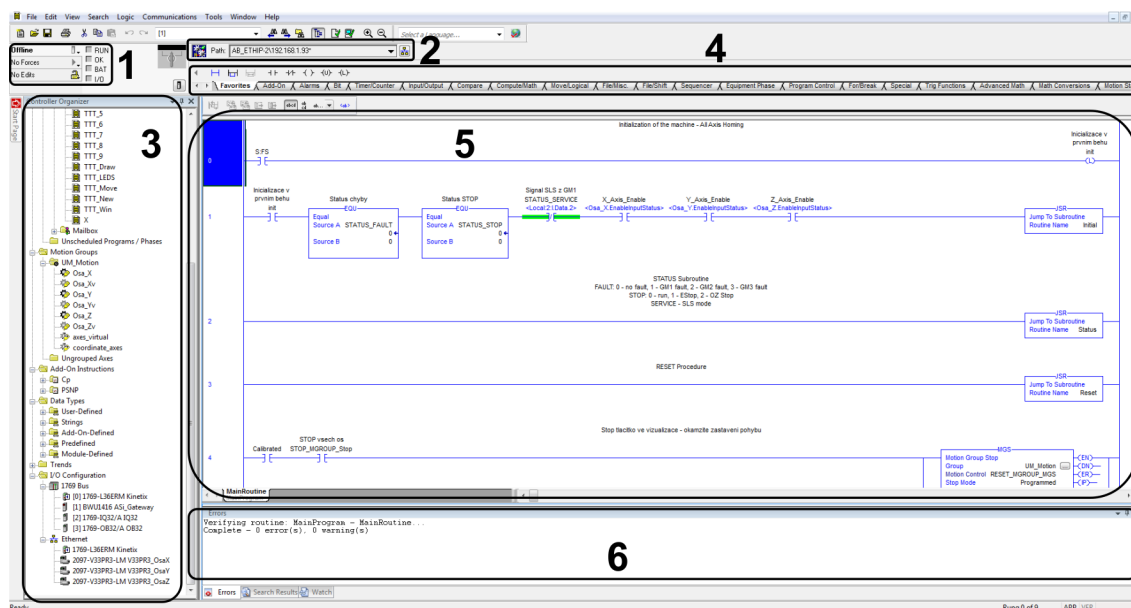
Každý bezpečný slave obsahuje unikátní kódovou tabulku. Bezpečnostní zařízení monitorující komunikaci na sběrnici, tzv. Safety Monitor, se při inicializaci sítě naučí tyto kódové tabulky všech připojených bezpečných zařízení. Během provozu stále monitoruje veškerou komunikaci a porovnává data s uloženými tabulkami.

Safety Monitor provede odpojení v případě, že dojde k aktivaci bezpečnostních vstupů, chybě při přenosu kódové tabulky nebo v případě odmlčení bezpečného zařízení. Doba reakce od vyvolání podmínky pro STOP do vybavení výstupů je 40ms.

## 6 PROGRAMOVÁNÍ PLC

### 6.1 Vývojové prostředí RSLogix 5000

Software RSLogix 5000 je určen k vytváření programů pro PLC Allen-Bradley. Umožňuje nahrávání i stahování programu do a z automatu a také online sledování průběhu programu. Pro zajištění komunikace tohoto vývojového prostředí s PLC je zapotřebí program RSLinx.



Obr. 6.1: Vývojové prostředí RSLogix 5000

Hlavní okno vývojového prostředí RSLogix 5000 se skládá z několika hlavních částí. Oblast na obrázku 6.1 označená číslicí 1 slouží k přepínání režimů PLC, downloadu i uploadu programu. Obsahuje také indikaci stavu automatu.

V oblasti 2 se nachází nabídka, ve které se propojí software s konkrétním PLC.

Číslem 3 je značeno okno znázorňující strukturu projektu. V tomto okně se také vytváří HW konfigurace pro daný automat.

Oblast 4 označuje panel nástrojů s programovacími prvky zvoleného programovacího jazyka. Nalezneme zde například bitové operace, funkce čítačů a časovačů, matematické funkce a také funkce pro ovládání os pohonů.

Oblast 5 je prostor, ve kterém se otvírají další okna. Nejčastěji to budou okna pro vytváření samotného programu a okno tagů, tedy proměnných.

Ve spodní části se nachází informační panel, který je označen číslem 6. V něm se zobrazují informace o chybách ve vyvíjeném programu, výsledcích kompilace a stavu komunikace s PLC.



## 6.2 Založení projektu

Před započítím samotného programování je zapotřebí založit projekt a vytvořit HW konfiguraci automatu, pro který budeme vytvářet program. Celá procedura se skládá z několika kroků. Prvním z nich je vytvoření nového prázdného projektu. K tomu použijeme položku *File -> New Projekt*. Otevře se okno *New Controller*, ve kterém zvolíme náš typ a revizi automatu. Tyto informace lze získat v programu RSLinx. Dále vyplníme název projektu. Můžeme upravit místo uložení projektu.

Po založení projektu uvidíme vespod okna struktury projektu složku *I/O Configuration* s námi zvoleným PLC. Zde také vytvoříme HW konfiguraci, tedy připojíme k procesoru použité vstupní a výstupní moduly a další rozšiřující karty. Pomocí kliknutí pravého tlačítka myši vyvoláme kontextovou nabídku, ve které zvolíme položku *New Module*. V nově otevřeném okně vybereme požadovaný modul a zvolíme správnou revizi. Tyto informace jsou opět k dispozici v programu RSLinx.

Dále je třeba připojit program k automatu. Učiníme tak pomocí položky v menu *Communication -> Who Active*. V nově otevřeném okně vybereme náš automat. Tlačítkem *Online* provedeme připojení. Současně se provede nahrání projektu do PLC.

Před vytvářením programu je nezbytné přepnout automat do režimu offline. V novém projektu je automaticky vytvořena hlavní programová smyčka. Ve struktuře projektu se nachází v *Task -> MainTask -> „Název projektu“ -> MainRoutine*. Po jejím otevření se zobrazí programovací okno. Vývojové prostředí umožňuje programátorovi vybrat si ze čtyř programovacích jazyků – ladder, strukturovaný text, funkční bloky a graf sekvenčních funkcí. Pro vytvoření programu jsem zvolil jazyk ladder, který shledávám nejpřehlednějším. Ladder diagram umožňuje programovat pomocí kontaktní logiky uspořádané do příček, které se vykonávají současně. Na levé straně příčky se sdružují podmínky běhu dané příčky, na straně pravé jsou operace, které se při splnění podmínek vykonávají.

V programu často potřebujeme ukládat výsledky operací, označit si stav, že nějaká část kódu proběhla atd. K tomu slouží proměnné neboli *Tags*, které můžeme vytvářet jak pro jednotlivé úlohy nebo globálně pro celý projekt označené jako *Controller Tags*. Pro vytvoření nové proměnné stačí v záložce *Edit* zadat její název a typ. Proměnné mohou být jedním ze základních typů, např. *BOOL*, *INT*, *DINT*, *REAL*. Tyto proměnné pouze vyhražují paměť o dané velikosti a umožňují k nim konkrétně přistupovat. Existují také typy proměnných, které jsou určeny pro obsluhu různých programovacích bloků. Jsou to například časovače a čítače nebo instrukce pro řízení pohybu. Tyto typy sdružují několik dílčích proměnných různých základních typů. Dále pracujeme s mnoha vstupy a výstupy, již adresy jsou pouze číselně označeny.

Je vhodné pro ně vytvořit symbolický název, tzv. *alias*. Přispěje to k přehlednosti programu a v neposlední řadě i ulehčení práce programátora. Tyto zástupné názvy lze vytvořit totožným způsobem jako jakoukoliv proměnnou. Jediným rozdílem je to, že nezadáme typ proměnné, ale v kolonce *Alias For* nalezneme adresu patřičného vstupu nebo výstupu. Nahrání programu do automatu se provádí pomocí položky *Offline -> Download* v oblasti přepínání režimů PLC.

## 6.3 Popis programu

Program pro ovládání manipulátoru je z důvodu přehlednosti rozdělen do několika základních celků. Tvoří ho hlavní programová smyčka *MainRoutine* a několik podprogramů, tzv. subroutine. Hlavní program slouží pro volání základních podprogramů a rozhodování o ovládacím režimu stroje – manuální nebo hra piškvorky. Základní subroutiny zajišťují inicializaci stroje, monitorování stavů manipulátoru, resetování komponentů a softwarové zastavení pohybu ramen stroje.

Po zapnutí PLC nebo nahrání programu proběhne inicializace stroje. Kód pro tuto operaci se nachází v subroutině *Initial*. Ramena manipulátoru provedou homing a tím servoměniče zjistí nulovou polohu v souřadném systému. Dále se v tomto podprogramu přednastaví proměnné potřebné pro další části programu. Aby se inicializace spustila, musí být stroj uveden do normálního režimu a nesmí být porušeny bezpečnostní podmínky. Dokončení inicializace je podmínkou pro další chod programu. Pokud dojde během kalibrace k porušení podmínek bezpečnosti a stroj bude bezpečnostními prvky zastaven, spustí se po uvedení stroje do provozního stavu inicializační proces automaticky od začátku. Pokud se do třiceti vteřin od začátku inicializace nepovede stroj zkalibrovat, přeruší se inicializační proces a stroj se zastaví. Tento stav společně s příčinou je indikován ve vizualizaci ve formě alarmu. Příčinou je nenajetí na nulovou pozici jedné nebo více os.

Podprogram *Status* slouží pro monitorování stavů manipulátoru. Poskytuje informace pro vizualizaci o režimu stroje, stop stavu a jeho zdroji a také o chybovém stavu bezpečnostních relé.

Pokud dojde k přerušení pohybu stroje z důvodu porušení bezpečnosti, servoměniče se přepnou do chybového stavu indikujícího zakázání pohybu od bezpečnostních prvků. Tento stav je nutné softwarově vyresetovat. Do stejného stavu se přepnout i pohybové instrukce při přerušení jejich vykonávání. Ty je také potřeba zresetovat. Tyto operace se provádějí s podprogramu *Reset*.

Podprogram *ManualControl* realizuje ruční ovládání manipulátoru. Na základě stisknutých tlačítek spouští pohyb příslušné osy nebo koordinovaný přesun všech tří os

na konkrétní pozici. Rozsah pohybů je omezen softwarovými limity nastavenými pro každou osu zvlášť. Tyto limity byly zjištěny experimentálně.

Hra piškvorky je z velké části naprogramovaná pomocí maker ve vizualizaci, ale určité mechanismy jsou realizovány v programu v PLC. Hlavní herní subrutina *TicTacToe* je rozdělena do dalších několika podprogramů. Obsahuje ovládání světelných diod na modelu labyrintu a vykreslování znaků O a X. Z herních mechanismů je zde naprogramováno přepínání hrajícího hráče a vyhodnocování konce hry a určení jejího případného vítěze.

Pro vykreslování znaků jednotlivých hráčů slouží podprogramy *O* a *X*. Jedná se o převzaté subrutiny z programu pro vykreslování technického písma realizovaného v bakalářské práci pana Poláka[2]. Tyto podprogramy však nebyly kompatibilní s mým programem a bylo nutné je patřičně upravit.

## 6.4 Vybrané pohybové instrukce

Proměnné potřebné pro řízení těchto instrukcí se vytvářejí jako běžné tagy. Jejich typem jsou *Motion\_Instruction* nebo *Motion\_Group*. Proměnné musí být pro každou použitou pohybovou instrukcí unikátní. Nelze je sdílet pro více instrukcí, byť stejného typu. Důvodem jsou uložené informace o jejich stavu. Uvedu příklad. Po provedení instrukce se uloží do řídicích proměnných informace o tom, že instrukce proběhla a je ukončená. Pokud by nějaká další instrukce s ní sdílela řídicí proměnné, nikdy by se nevykonala, protože by také indikovala stav dokončeno. Na to je potřeba brát zřetel, protože by se stroj mohl dostat do neočekávaných stavů.

### 6.4.1 Instrukce stavu pohonu

Instrukce, které patří do této skupiny, přímo ovládají nebo mění operační stav dané osy.

Tyto instrukce mají tři výstupy:

**.EN (Enable)** – bit je nastaven do log. 1 v případě přechodu podmínky běhu instrukce z false do true a zůstává v této hodnotě, dokud není instrukce dokončena nebo nepřejde povolovací podmínka do stavu false

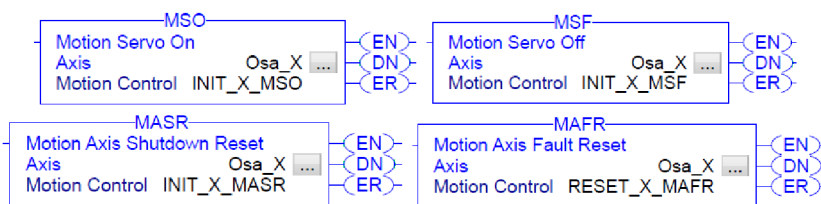
**.DN (Done)** – bit je nasetován po úspěšném provedení instrukce

**.ER (Error)** – chybový bit je nastaven, pokud se provedení instrukce nezdaří

Instrukce vyžadují pouze dva parametry:

**Axis** – osa, kterou bude instrukce ovládat

**Motion Control** – unikátní řídicí proměnná pro pohybovou instrukci



Obr. 6.2: Vybrané instrukce stavu pohonu

### MSO - Motion Servo On

Instrukce MSO slouží k aktivaci zesilovače pohonu dané osy a aktivaci řídicí smyčky serva.

### MSF – Motion Servo Off

MSF instrukce slouží naopak k deaktivaci zesilovače pohonu a řídicí smyčky.

### MASD – Motion Axis Shutdown

Tato instrukce přepíná zvolenou osu do vypnutého stavu. V tomto stavu je na měniči vypnut výstup pro motor a deaktivovaná řídicí smyčka serva. Osa zůstává ve vypnutém stavu do doby, než je vykonána instrukce Axis nebo Group Shutdown Reset.

### MASR, MGSR – Motion Axis (Group) Shutdown Reset

Pro opětovné zapnutí jedné osy slouží instrukce MASR, pro skupinu os instrukce MGSR. Po jejím provedení jsou vyresetovány i všechny chyby dané osy, případně skupiny os.

### MAFR – Motion Axis Fault Reset

Instrukce MAFR vymaže chyby na dané ose.

## 6.4.2 Instrukce pohybu

Instrukce pohybu se používají k řízení pohybu os.

U pohybových instrukcí jsou kromě obvyklých výstupů EN, DN a ER ještě tyto:

**.IP (In Process)** – log. 1 indikuje provádění instrukce

**.PC (Process Complete)** – nasetuje se po provedení instrukce, setrvává v log. 1 dokud podmínka běhu nespadne do false

Instrukce z této skupiny vyžadují ve většině případů také více parametrů:

**Axis** – osa, kterou bude instrukce ovládat

**Motion Control** – unikátní řídicí proměnná pro pohybovou instrukci

**Direction** – směr pohybu osy

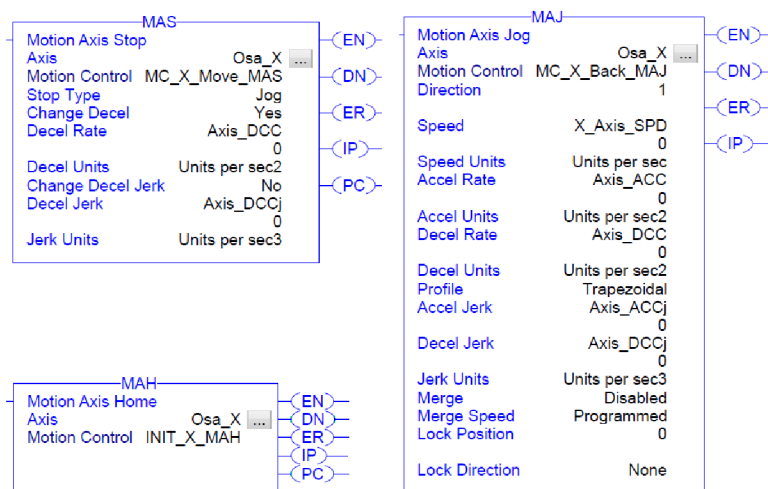
**Speed** – konkrétní hodnota nebo proměnná udávající rychlost pohybu

**Accel Rate** – hodnota akcelerace pohybu

**Decel Rate** – hodnota zpomalení pohybu

**Speed/Accel/Decel/Jerk Units** – jednotky, ve kterých je zadán předchozí parametr (jednotky, procenta z maxima)

**Profile** – tvar křivky, podle které bude probíhat zpomalení (trapéz, S-křivka)



Obr. 6.3: Vybrané pohybové instrukce

### MAS – Motion Axis Home

Instrukce MAH provede homing zvolené osy, tedy najetí na nulovou polohu. V nastavení osy lze zvolit dva způsoby homingu. Při nastavení aktivního homování osa sama najede do nulové pozice, pokud je nastaveno pasivní, je třeba osu uvést do pohybu programově.

### MAH – Motion Axis Stop

K zastavení pohybu osy slouží instrukce MAH.

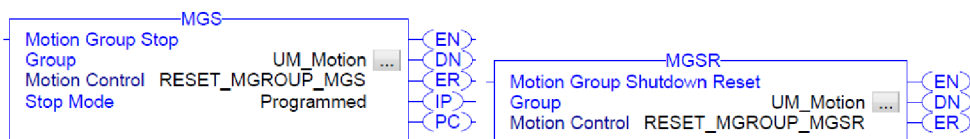
### MAJ – Motion Axis Jog

Tato instrukce slouží k uvedení dané osy do pohybu v zadaném směru, zadanou rychlostí. Osa se bude pohybovat, dokud nebude přerušena jinou instrukcí.

## 6.4.3 Skupinové instrukce

Pohybové osy nemusíme ovládat pouze jednotlivě, ale můžeme je sdružit do skupiny. Právě k ovládání takovéto skupiny slouží skupinové instrukce.

Výstupy těchto funkcí jsou shodné s předchozí skupinou instrukcí, liší se pouze ve vstupním parametru. Místo zadání pohybové osy se zadává skupina os.



Obr. 6.4: Vybrané skupinové instrukce

### **MSG – Motion Group Stop**

Instrukce MSG provede zastavení všech os patřících do dané skupiny. Instrukce umožňuje vybrat jeden z několika druhů zastavení: Programmed – pohyb os se zastaví se zpomalením nastaveným při konfiguraci

Fast Stop – osy se zastaví s maximálním zpomalením, poté je servo v režimu Active  
Fast Disable – zastavení os proběhne s maximálním zpomalením, servo má status Ready

### **MGSR – Motion Group Shutdown Reset**

Pomocí této instrukce se zapnou všechny osy spadající do dané skupiny a vymažou se jejich chyby.

## **6.4.4 Instrukce koordinovaného pohybu**

Ke koordinovanému pohybu až tří os v souřadnicovém systému slouží instrukce koordinovaného pohybu.

Počet výstupů u těchto pohybových instrukcí je rozšířen ještě další tři:

**.AC (Active)** – pokud je více instrukcí koordinovaného pohybu naprogramovaných do fronty, tento bit indikuje, která z instrukcí pohyb v danou chvíli řídí. Je nasetován když instrukce přijde na řadu a vynulován, jakmile je instrukce úspěšně ukončena

**.ACCEL (Acceleration Bit)** – log. 1 indikuje fázi zrychlování, je vynulován v případě pohybu konstantní rychlostí nebo zpomalování  
**.DECCEL (Deceleration Bit)** – je nasetován během fáze zpomalování, znulován při konstantní rychlosti pohybu nebo zrychlování

Vstupní parametry se trochu liší od předchozích skupin instrukcí. Zde se již nenastavují konkrétní osy ani jejich skupina, nýbrž souřadnicový systém:

**Coordinate System** – proměnná určující druh souřadného systému, vytváří se při konfiguraci pohybových os

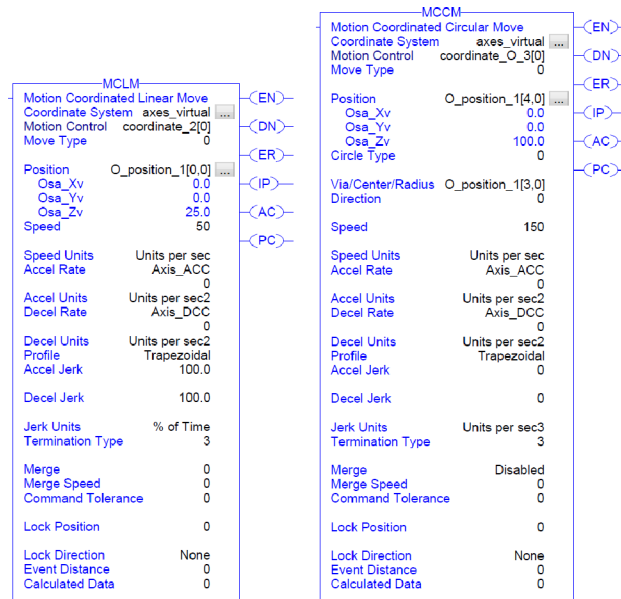
**Move Type** – určuje, zda je pohyb prováděn na základě absolutních souřadnic nebo relativních souřadnic z aktuální pozice

**Position** – proměnnou je pole s požadovanými souřadnicemi každé osy

**Termination Type** – parametr, který určuje typ ukončení dané instrukce a navázání následující instrukce

**Circle Type** – určuje způsob kruhového pohybu (Via, Center, Radius)

**Direction** – určuje směr kruhového pohybu



Obr. 6.5: Vybrané instrukce koordinovaného pohybu

### MCLM – Motion Coordinated Linear Move

Tato instrukce provádí lineární koordinovaný pohyb jedné a více os v kartézském souřadnicovém systému na zadané souřadnice.

### MCCM – Motion Coordinated Circular Move

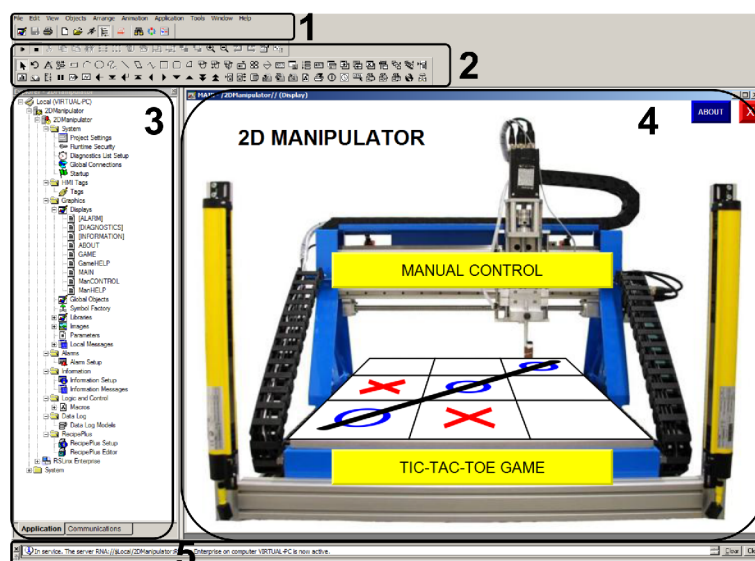
Pro koordinovaný pohyb os po kružnici slouží instrukce MCCM. Je uzpůsobena pro použití v 2D i v 3D prostoru.

## 7 VIZUALIZACE

Pod pojmem vizualizace rozumíme grafické uživatelské prostředí, dále jen GUI, umožňující operátorovi monitorovat a ovládat dané zařízení pomocí klávesnice a myši, případně dotyků přímo na obrazovce. Jde o počítačový program, který je spuštěn buď na PC, nebo na speciálním zařízení jako je například terminál PanelView. Dané zařízení je pomocí komunikačního rozhraní, v našem případě Ethernet/IP, propojeno s řídicím PLC. Ve vizualizačním nástroji se nastaví komunikace s patřičným automatem. Jak v PLC tak i v GUI jsou vytvořeny proměnné (tagy), které jsou vzájemně propojeny. Pomocí nich probíhá předávání dat.

### 7.1 FactoryTalk View Studio ME 7

Dalším produktem firmy Rockwell Automation je vizualizační software FactoryTalk View Studio. Verze Machine Edition je určena pro vizualizace jednotlivých strojů nebo málo rozsáhlé procesy. Jinou verzí, kterou se však zabývat nebudeme, je Site Edition, která slouží pro rozsáhlé procesy umožňující distribuované monitorování a řízení více strojů.



Obr. 7.1: Hlavní okno FTV

Hlavní okno tohoto vývojového prostředí se skládá z několika základních částí, které jsou na obrázku 7.1 označeny čísly. Úplně nahoře se nacházejí oblast 1 obsahující klasické rozevírací seznamy s objekty a operacemi nad nimi.

Pod těmito seznamy se nachází oblast panelů nástrojů označena číslicí 2. Obvykle je zde zobrazen panel správy projektu. Další panely se zobrazují v závislosti na



otevřeném objektu. Na obrázku jsou vidět dva pruhy nabídek – ovládání vizualizace a panel nástrojů s objekty, které lze vložit do vizualizační obrazovky.

Oblast 3, která se nachází na levé straně hlavního okna označuje panel umožňující procházení struktury celého projektu vizualizace.

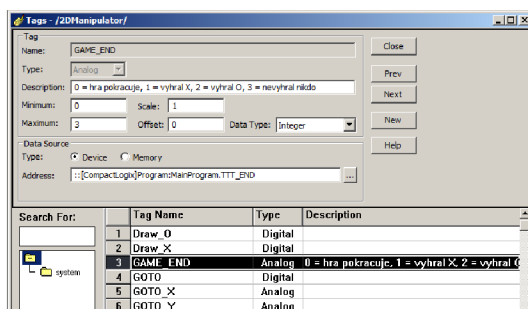
Při kliknutí na jednotlivé položky struktury se otevřou dané okna vpravo v oblasti 4. Těmi okny mohou být nastavení projektu vizualizace, okno pro vytvoření spojení s automatem anebo, jak je ukázáno na obrázku 7.1, okno s grafickým návrhem obrazovky.

Pod touto oblastí se nachází informační pruh, ve kterém se zobrazují informace o stavu programu a např. výsledcích kompilace projektu. Je označen číslem 5.

### 7.1.1 Struktura projektu vizualizace

Stromová struktura projektu obsahuje několik složek. Ve složce System se nachází nastavení daného projektu. Nastavuje se zde například velikost obrazovek, zabezpečení vizualizace, akce po spuštění nebo při zavření vizualizace.

Další položkou jsou HMI Tags. Zde se vytváří proměnné pro vytvářenou vizualizaci. Proměnné mohou být více typů. Digital, což odpovídá jednobitové proměnné, Analog, pro ukládání vícebitových dat a String, sloužící pro práci s textovými proměnnými. Proměnné mohou být použity jako oblast paměti pouze pro vizualizaci nebo je lze propojit s proměnnou v automatu. Toho využijeme při monitorování a řízení daného stroje.



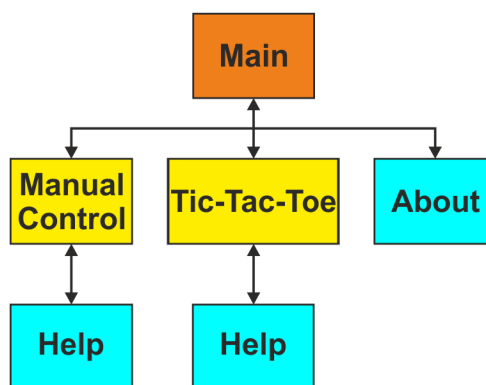
Obr. 7.2: Vytváření proměnných

Ve složce Graphics se nacházejí další podsložky. V položce Displays jsou uloženy grafické návrhy obrazovek. Podsložky Symbol Factory, Librarie a Images obsahují grafické prvky, které lze použít pro návrh obrazovek. Je možné přidávat i vlastní obrázky. Složka Local Messages slouží pro vytváření textových zpráv, které se zobrazují v závislosti na hodnotě zvolené proměnné.

Složka Alarms slouží pro nastavení alarmů, tedy navázání na proměnné a zprávy, které se budou zobrazovat.

Pomocí položky RSLinx Enterprise se vyvolá okno s nastavením propojení vizualizace s programovatelným automatem.

## 7.2 Obrazovky vizualizace



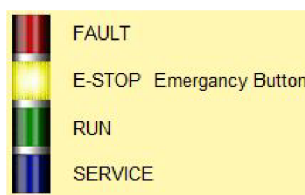
Obr. 7.3: Struktura GUI

Po spuštění vizualizace se otevře hlavní obrazovka, která nabízí výběr ze dvou režimů 2D manipulátoru a obrazovku s informacemi o práci, v rámci které vznikla. Na obrázku 7.3 je znázorněna sktruktura vizualizačních obrazovek. Z nižší úrovně se lze vždy vrátit na předchozí obrazovku.



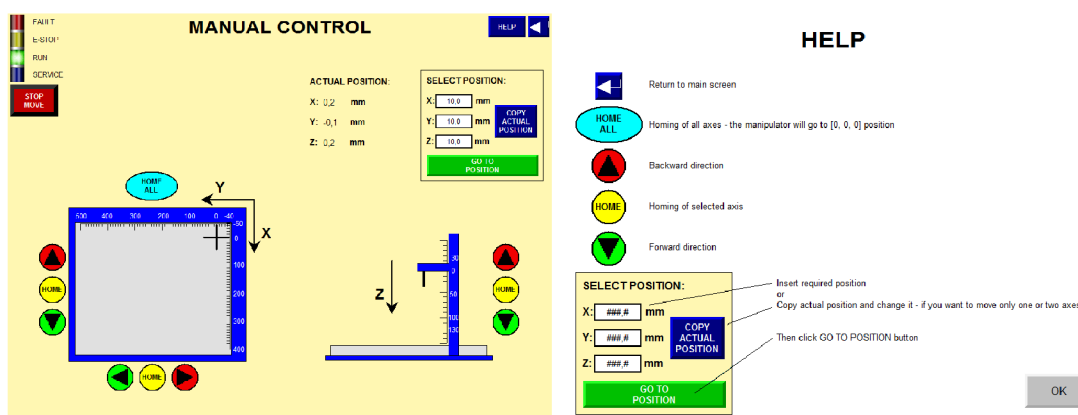
Obr. 7.4: Hlavní obrazovka a obrazovka s informacemi o projektu

Na hlavní obrazovce se nachází celkem čtyři tlačítka. Červeným tlačítkem s křížkem úplně v pravém horním rohu lze vizualizaci ukončit. Tlačítko *About* zobrazí informace o vzniku vizualizace – název práce, autor, rok. Po kliknutí na zbylé dvě tlačítka se zobrazí obrazovka umožňující ovládání manipulátoru v jednom ze dvou režimů. Prvním z nich je manuální ovládání a druhým je hra piškvorky.



Obr. 7.5: Indikace stavu zařízení

V levém horním rohu obrazovek manuálního ovládání i hry piškvorky se nachází barevný semafor znázorňující aktuální stav stroje. Červená barva znamená chybu bezpečnostní techniky. Žlutá značí, že se stroj nachází ve stavu STOP. Zároveň se zobrazí textová informace o zařízení, které tento stav vyvolalo. Zelená je běžný chod a modré světlo znamená, že se stroj nachází v servisním režimu.

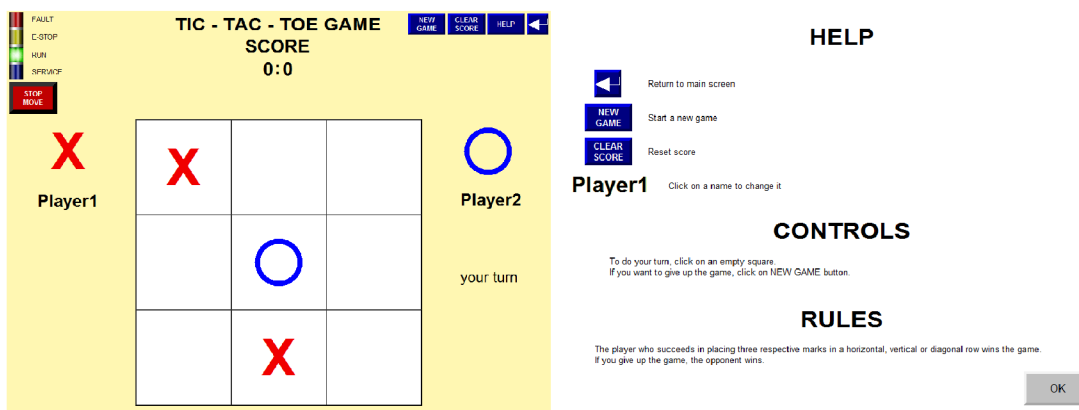


Obr. 7.6: Manuální ovládání a obrazovka s nápovědou

Hlavním prvkem v manuálním režimu je zobrazení polohy všech tří os. V levé dolní části obrazovky se nachází pohled na pracovní plochu manipulátoru svrchu, umožňující sledovat osy X a Y. Napravo od ní je umístěn pohled na osu Z z boku. O každé z os jsou tři ovládací tlačítka. Dvě směrová a tlačítka homingu. Tlačítka *Home all* nad pracovní plochou provede homing všech tří os. Uprostřed obrazovky se pak nachází číselné vyjádření aktuální polohy.

Manuální režim umožňuje dvojí ovládání manipulátoru. Prvním z nich je ruční pojezd. Dokud je zmáčknuto směrové tlačítko pojezdu, osa vykonává pohyb v daném směru do doby, než je tlačítko puštěno nebo se nenajede na softwarový limit. Druhou možností, jak manipulátor ovládat je nastavení přesných souřadnic, na které se má najet. K tom slouží blok napravo od zobrazení aktuální pozice. Zde se do tří kolonek zadají souřadnice pro každou osu. Pokud chceme měnit pozici pouze jedné z os, tlačítkem *Copy actual position* lze zkopírovat do kolonek aktuální pozici a nemusíme opisovat všechny tři údaje ručně. Po stisknutí zeleného tlačítka *Go to position* manipulátor najede na požadovanou pozici.

Tlačítko *Help* zobrazí okno s popisem funkce jednotlivých tlačítek. Tlačítkem s šipkou v pravém horním rohu se opustí režim manuálního ovládání a dojde k návratu na hlavní obrazovku.



Obr. 7.7: Hra piškvorky a obrazovka s nápovědou a pravidly

Po přepnutí do režimu piškvorek se otevře obrazovka s hrací plochou. Vedle hrací plochy jsou umístěny symboly rozlišující hráče, pod nimi jejich jména, která lze změnit kliknutím na ně. Pod jménem se střídavě zobrazuje text „your turn“ značící, že je daný hráč na řadě. Na modelu labyrintu je hrající hráč indikován podsvětlením tlačítek na jeho přední straně. Na obrazovce se nachází pouze několik tlačítek. Jedním z nich je tlačítko *New Game*. Po jeho stisknutí se smaže aktuální hra a začne nová. Pokud hra v tu chvíli nebyla ukončena výhrou nebo remízou, znamená to, že hráč, který je aktuálně na tahu, hru vzdává a je připsán jeden bod soupeři. Tlačítko *Help* iniciuje okno s pravidly hry a jejím ovládáním. Tlačítko s šipkou slouží pro návrat na hlavní obrazovku s výběrem režimů.

Hra se ovládá myší tak, že hráč, který je na řadě, klikne do jednoho z neobsazených polí na hracím plátnu. V něm se objeví jeho symbol, který manipulátor vykreslí na příslušném poli modelu labyrintu. Současně se na daném poli rozsvítí LED dioda – červená pro křížek, zelená pro kolečko. Pohyb manipulátoru je ve vizualizaci indikován textem „wait, i am moving“. Teprve, až se manipulátor zastaví, může ve hře pokračovat druhý hráč. Pokud jeden z hráčů úspěšně vytvoří řadu 3 svých symbolů, vyhrál a je tato řada zvýrazněna černou. Skóre se zvýší o jeden bod pro vítězného hráče. V případě remízy, tj. když se ani jednomu z nich nepovede vytvořit řadu tří symbolů, oznámí se výsledek remízy. Další kolo hry se spustí tlačítkem *New Game*.

## 8 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce jsem se seznámil s modelem 2D manipulátoru a s pracemi studentů, které se strojem souvisejí. Nastudoval jsem jeho ovládání a původní zapojení. Dále jsem se zabýval novými komponenty, jejich funkcí, možnostmi a konfigurací. Po získání všech potřebných informací jsem navrhl elektroinstalaci s těmito novými komponenty, kterou jsem následně realizoval. Poté jsem se pustil do konfigurace jednotlivých zařízení. Při zkoušení funkce jednotlivých prvků se projevovaly problémy, které mohly být způsobeny buď špatnou softwarovou konfigurací, nebo špatným zapojením. Nalézt příčinu nefungování zařízení proto zabralo hodně času. Po nalezení a odstranění všech problémů, jsem zdárně odzkoušel funkci všech komponent a nakonec i celého zařízení. Tato praktická část práce byla časově náročná a vyžádala si největší podíl času při vypracování diplomové práce.

S obnovou elektroinstalace souvisí i analýza rizik, kterou jsem v práci zpracoval. Abych mohl určit veškerá nebezpečí a možné následky, musel jsem nastudovat patřičné normy, které jsou v textu popsány. Protože jsou výpočty spojené s touto činností poměrně náročné, využil jsem hojně používaný softwarový nástroj SISTEMA vyvinutý německým certifikačním institutem pro bezpečnost. Pomocí jeho jsem ověřil úroveň navržených bezpečnostních funkcí s požadovanou úrovní bezpečnosti. Díky použití nových komponent je dosaženo žádané úrovně bezpečnosti PLr d.

Po hardwarové části práce přišla na řadu programátorská část. Spočívala ve vytvoření uživatelského programu, který by demonstroval funkčnost celého zařízení. Program umožňuje dvojitě využití manipulátoru. Prvním ze způsobů je klasické manuální ovládání, kdy za pomoci tlačítek ve vizualizaci řídíme pohyb jednotlivých os, případně zadáváme konkrétní pozici, na kterou manipulátor najede. Zajímavější je druhá část programu. Naprogramoval jsem hru piškvorky, kterou mohou hrát dva lidé proti sobě. Jednoduchým klikáním na hrací plochu zobrazenou na monitoru se uvedou do pohybu ramena manipulátoru, která vykreslí na ploše modelu labyrintu příslušný symbol hráče a rozsvítí se jedna ze dvou barevných LED diod.

2D manipulátor je nyní zcela funkční a splňuje bezpečnostní požadavky. Bezpečnost stroje je od teď nezávislá na použitém řídicím programu, což také přispělo ke zvýšení bezpečnosti. Manipulátor je připraven pro další práce studentů.

## LITERATURA

- [1] KOVÁŘ, P. *Model CNC frézky* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 76s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D. [cit. 20. 4 2015] Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=51419](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=51419)>.
- [2] POLÁK, J. *Písmo pro 3D zapisovač* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 42s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D. [cit. 20. 4 2015] Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39679](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39679)>.
- [3] Synchronní servomotory. AVEKO Servomotory, s.r.o. *AVEKO, s.r.o.* [online]. [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.aveko.com/prumyslova-automatizace/synchronni-servomotory>>.
- [4] Introduction to Functional Safety of Control Systems *Rockwell Automation* [online]. 2015 [cit. 13. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7555769/Comparison-of-PL-and-SIL.html>>.
- [5] STIBOR, Karel. *Bezpečnost v moderním průmyslu* [online]. Brno: VUT v Brně, 2010. 35 s. [cit. 13. 03. 2015]. Dostupné z URL: <[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_07\\_1010.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_07_1010.pdf)>.
- [6] PEŇÁZ, O. *Bezpečnost modelu manipulátoru* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013, 64s, Vedoucí bakalářské práce byl ING.RADEK ŠTOHL, Ph. D. [cit. 21. 12 2014]. Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64239](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64239)>.
- [7] Rockwell Automation, Inc. *Průvodce výběrem řízení pohybu Kinetix* [online]. 2011 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/gmc-sg001\\_-cs-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/gmc-sg001_-cs-p.pdf)>.
- [8] Allen Bradley Rockwell - A2097F5. Nelson Electric Supply Co. Inc. *Nelson Electric Supply Customer Portal* [online]. 2014 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://webstore.nelson-electric.com/ProductDetail.asp?InventorySys=284489&RootPartNumber=A2097F5>>.



- [9] MSR57P Speed Monitoring Safety Relay *AutomationWorld* [online]. 2009 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.automationworld.com/msr57p-speed-monitoring-safety-relay-2>>.
- [10] 440R Monitoring Safety Relays. Rockwell Automation, Inc. *Rockwell Automation* [online]. 2014 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/2051089/6270353/6647247/7871207/11461839/Guardmaster-Safety-Relays.html>>.
- [11] TLS-GD2 Guard Locking Switches. Rockwell Automation, Inc. *Rockwell Automation* [online]. 2014 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://ab.rockwellautomation.com/Sensors-Switches/Safety-Interlock-Switches/TLS-GD2-Guard-Locking-Switches#overview>>.
- [12] POC GuardShield Type 4 Standard Safety Light Curtains. Rockwell Automation, Inc. *Rockwell Automation* [online]. 2014 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://ab.rockwellautomation.com/Sensors-Switches/Operator-Safety/POC-Type-4-Standard-Light-Curtains>>.
- [13] Logické řízení: Programovatelné logické automaty. *VŠCHT - Ústavu počítačové a řídicí techniky* [online]. [cit. 30. 03. 2015]. Dostupné z URL: <<http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F5/F5-ram.htm>>.
- [14] ZBRANEK, P. *Model labyrinthu* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011, 50s, Vedoucí bakalářské práce byl ING.RADEK ŠTOHL, Ph. D. [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=42263](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42263)>.
- [15] AC5213. ifm electronic, spol. s r.o. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. 2008 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ifm.com/products/cz/ds/AC5213.htm>>.
- [16] AC5210. ifm electronic, spol. s r.o. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. 2011 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ifm.com/products/cz/ds/AC5210.htm>>.
- [17] Ifm OV5012 Verstarker Photoelectric Amplifier. eBay Inc. *eBay* [online]. 2015 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ebay.com/itm/ifm-OV5012-Verstarker-Photoelectric-Amplifier-/150763382899>>.

- [18] AC5000. ifm electronic, spol. s r.o. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. 2003 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ifm.com/products/cz/ds/AC5000.htm>>.
- [19] AC2088. ifm electronic, spol. s r.o. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. 2007 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ifm.com/products/aus/ds/AC2088.htm>>.
- [20] OE0004. ifm electronic, spol. s r.o. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. 2013 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ifm.com/products/cz/ds/OE0004.htm>>.
- [21] OE0003. ifm electronic, spol. s r.o. *Sensors, networking and control systems - ifm electronic* [online]. 2013 [cit. 3. 3. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.ifm.com/products/cz/ds/OE0003.htm>>.
- [22] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA *Průmyslový Ethernet IX: Ether-Net/IP, EtherCAT. AUTOMA* [online]. 2008, č 10 [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37910.pdf>>.
- [23] ŠTOHL, Radek *Sběrnice AS-Interface: Možnosti jediného kabelu*. Brno. 2014.



## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

SRP/CS - bezpečnostní části ovládacích systémů (Safety Related Part of Control System)

DC - diagnostické pokrytí (Diagnostic Coverage)

MTTFd - střední doba mezi dvěma nebezpečnými porachami (Mean Time To Failure)

PL - úroveň vlastností (Performance Level)

PFHd - pravděpodobnost nebezpečného selhání za hodinu (Probability of Dangerous Failure per Hour)

PLC - programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)

NC - rozepínací kontakt (Normally Closed)

NO - spínací kontakt (Normally Open)

OSSD - signál výstupního vypínacího prvku (Output Signal Switching Devices)

TCP - (Transmission Control Protocol)

UDP - (User Datagram Protocol)

EDS - elektronický popis zařízení (Electronic Device Sheet)

I/O - vstup/výstupní (Input/Output)

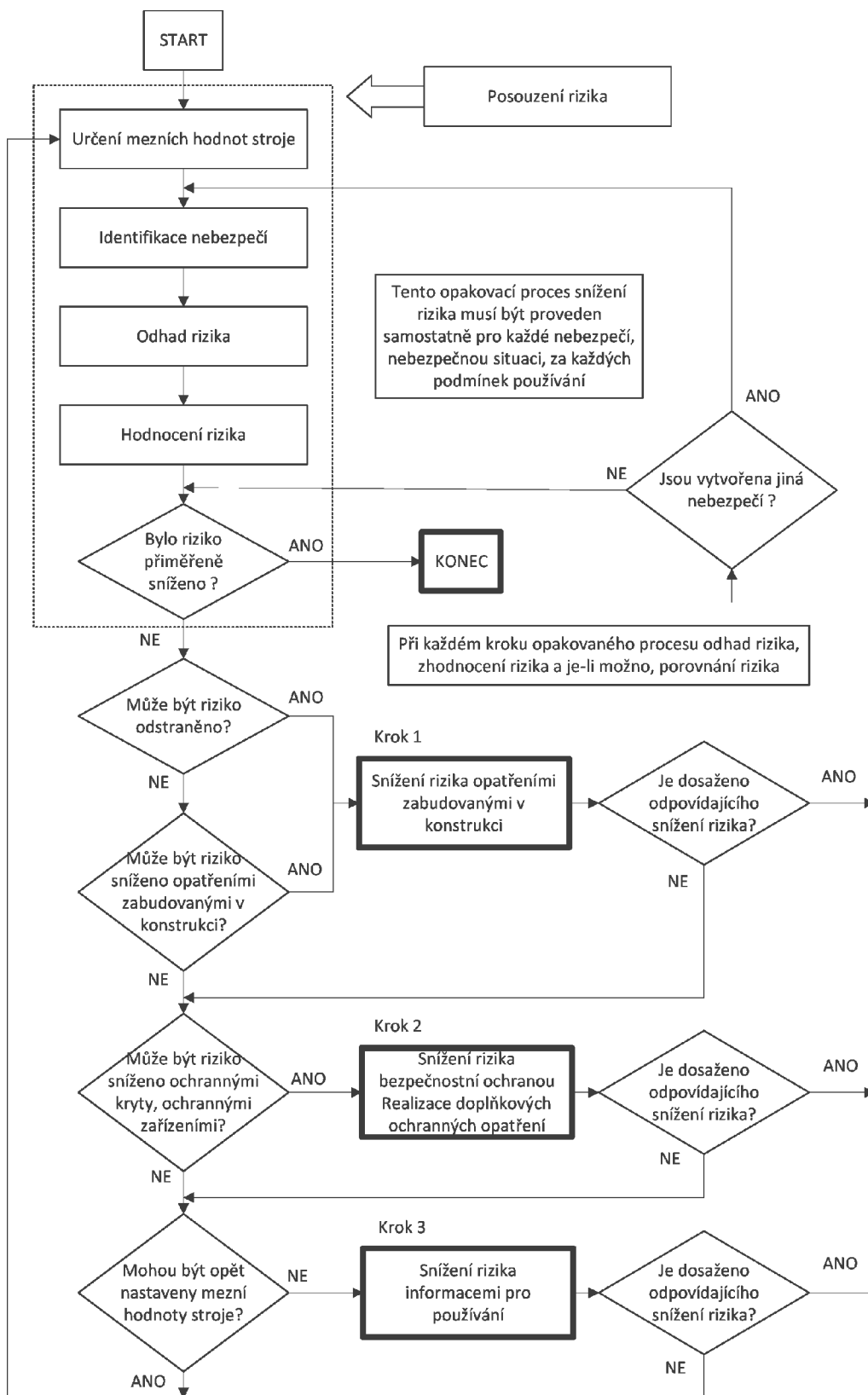
CIP - běžný průmyslový protokol (Common Industrial Protocol)

GUI - grafické uživatelské rozhraní (Graphical User Interface)

## **SEZNAM PŘÍLOH**

<b>A</b>	<b>Výňatek z ČSN EN ISO 12100</b>	<b>62</b>
<b>B</b>	<b>Schémata zapojení elektroinstalace</b>	<b>63</b>
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD-ROM</b>	<b>76</b>

## A VÝŇATEK Z ČSN EN ISO 12100

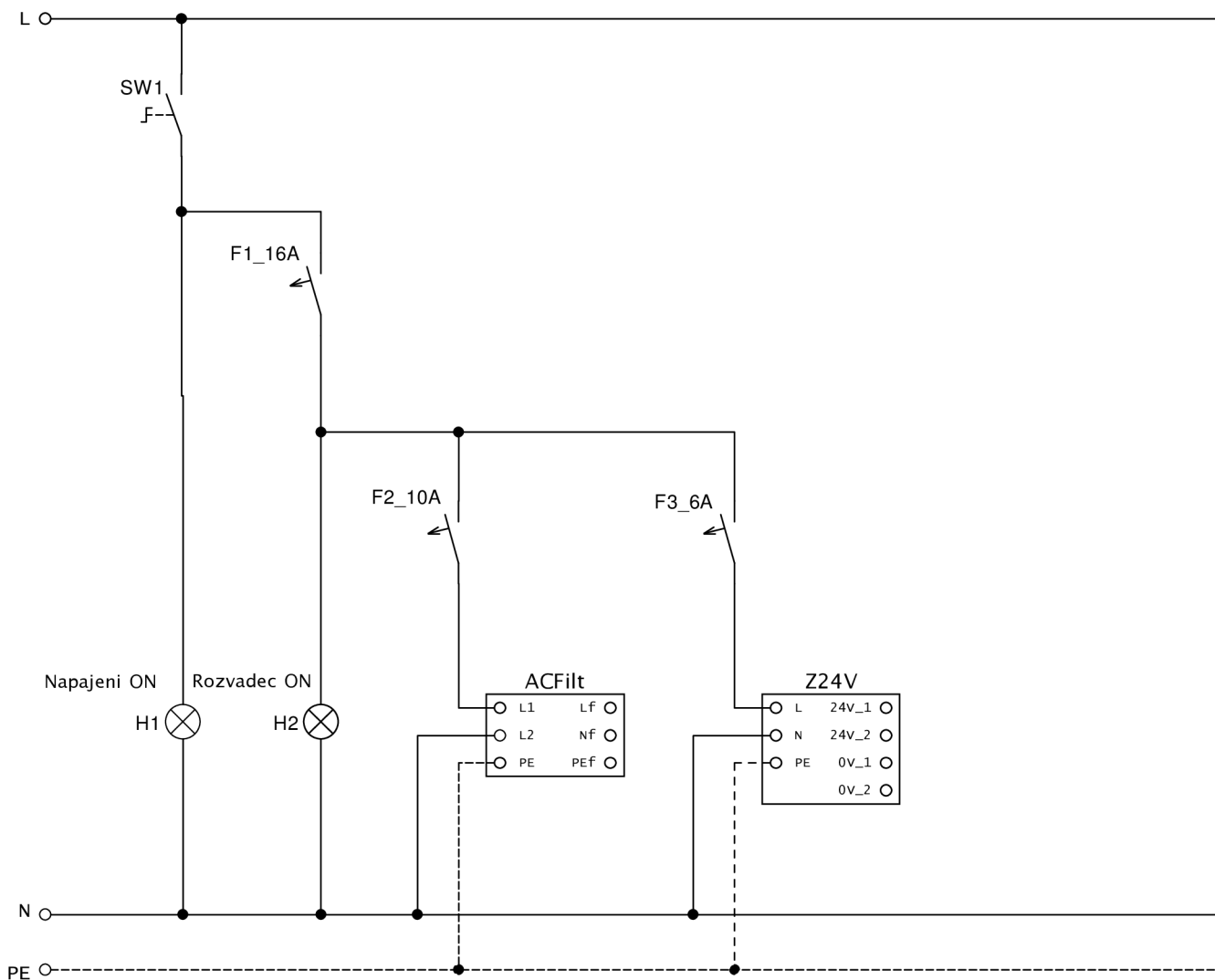


Obr. A.1: Proces posouzení a snížení rizika tříkrokovou metodou

## **B SCHÉMATA ZAPOJENÍ ELEKTROINSTALACE**

Seznam schémat:

- Schéma napájení 230V
- Schéma napájení frekvenčních měničů
- Schéma napájení 24V
- Zapojení frekvenčního měniče FM1
- Zapojení frekvenčního měniče FM2
- Zapojení frekvenčního měniče FM3
- Zapojení bezpečnostního relé GM1
- Zapojení bezpečnostního relé GM2
- Zapojení bezpečnostního relé GM3
- Zapojení bezpečnostního relé D22R2
- Schéma svorkovnic X1 a X2
- Schéma svorkovnice X3



Název: Příloha A - Schéma napájení 230V

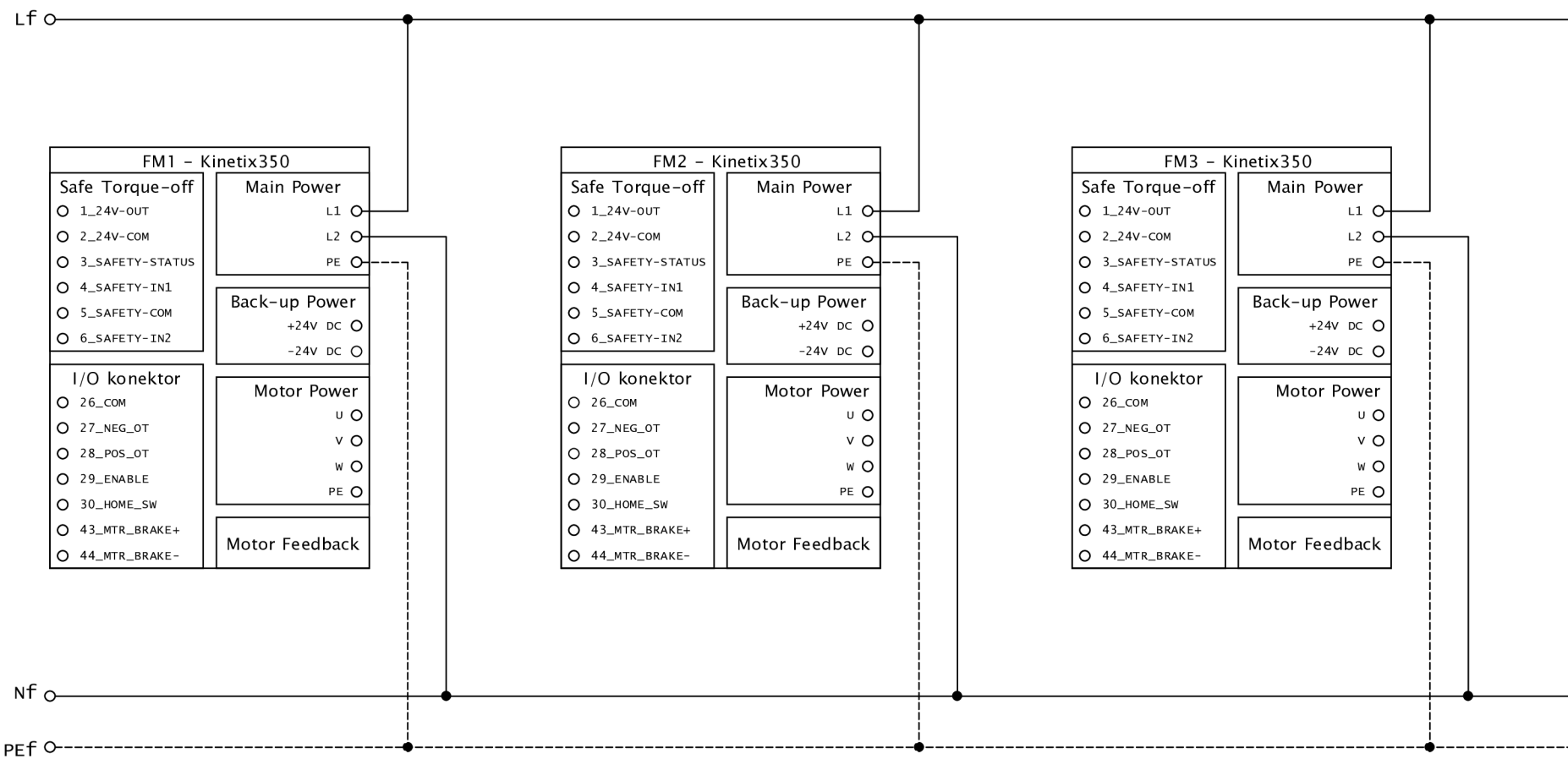
Index:

Datum: 22. 12. 2014

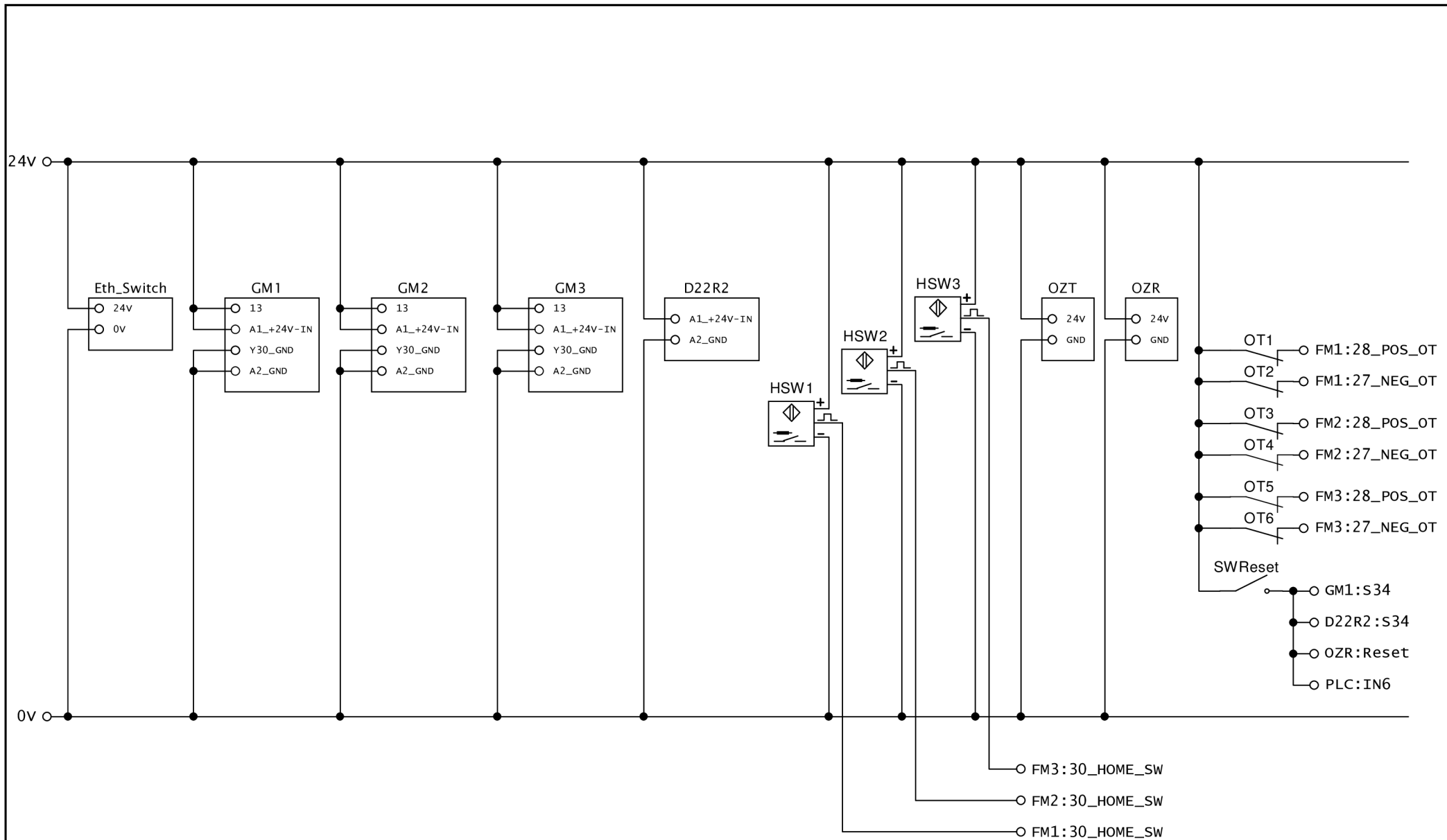
List:

Autor: Bc. Martin Maléf

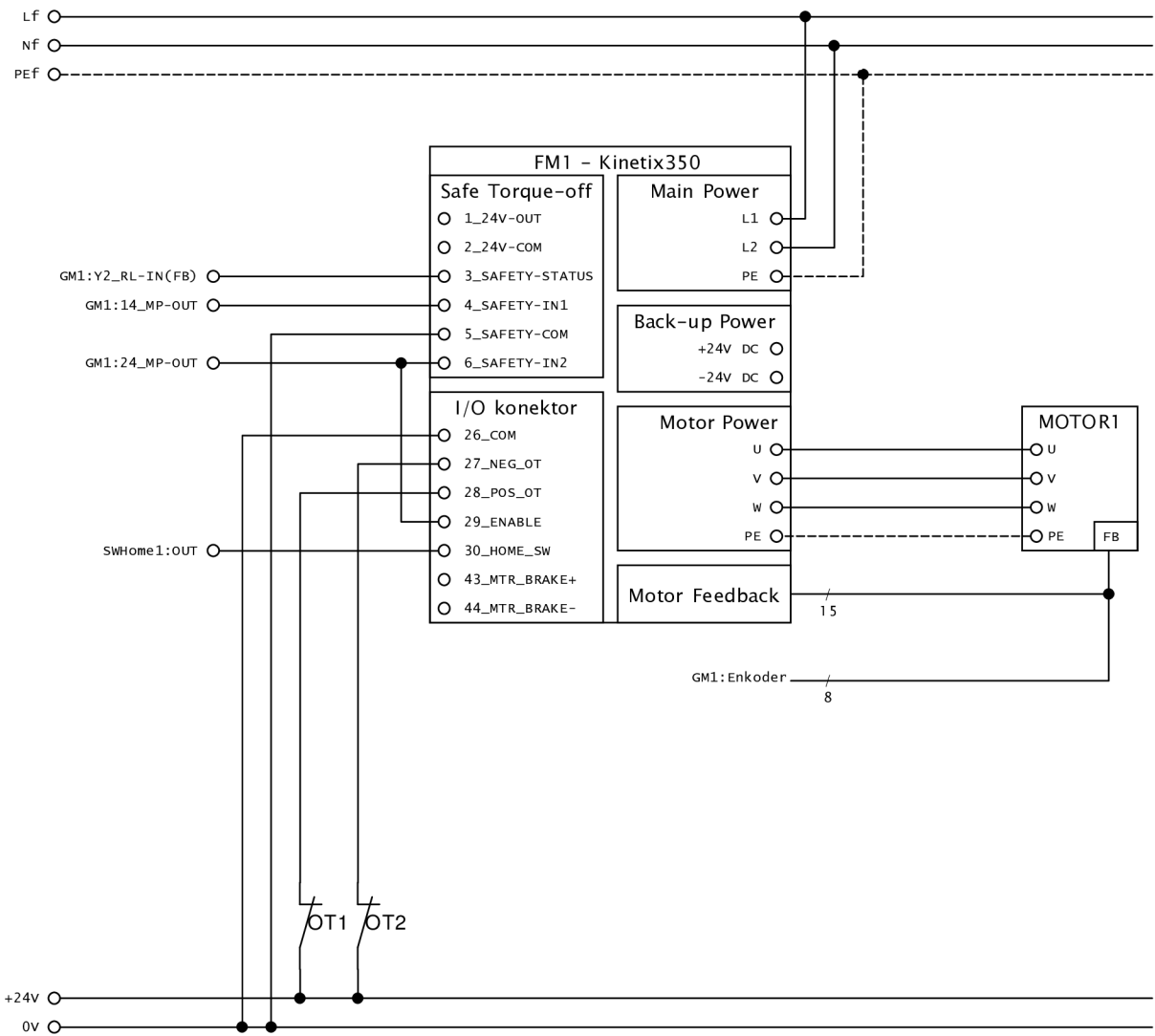
Revize:



Název: Příloha A - Schéma napájení frekvenčních měničů		
Index:	Datum: 22. 12. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		

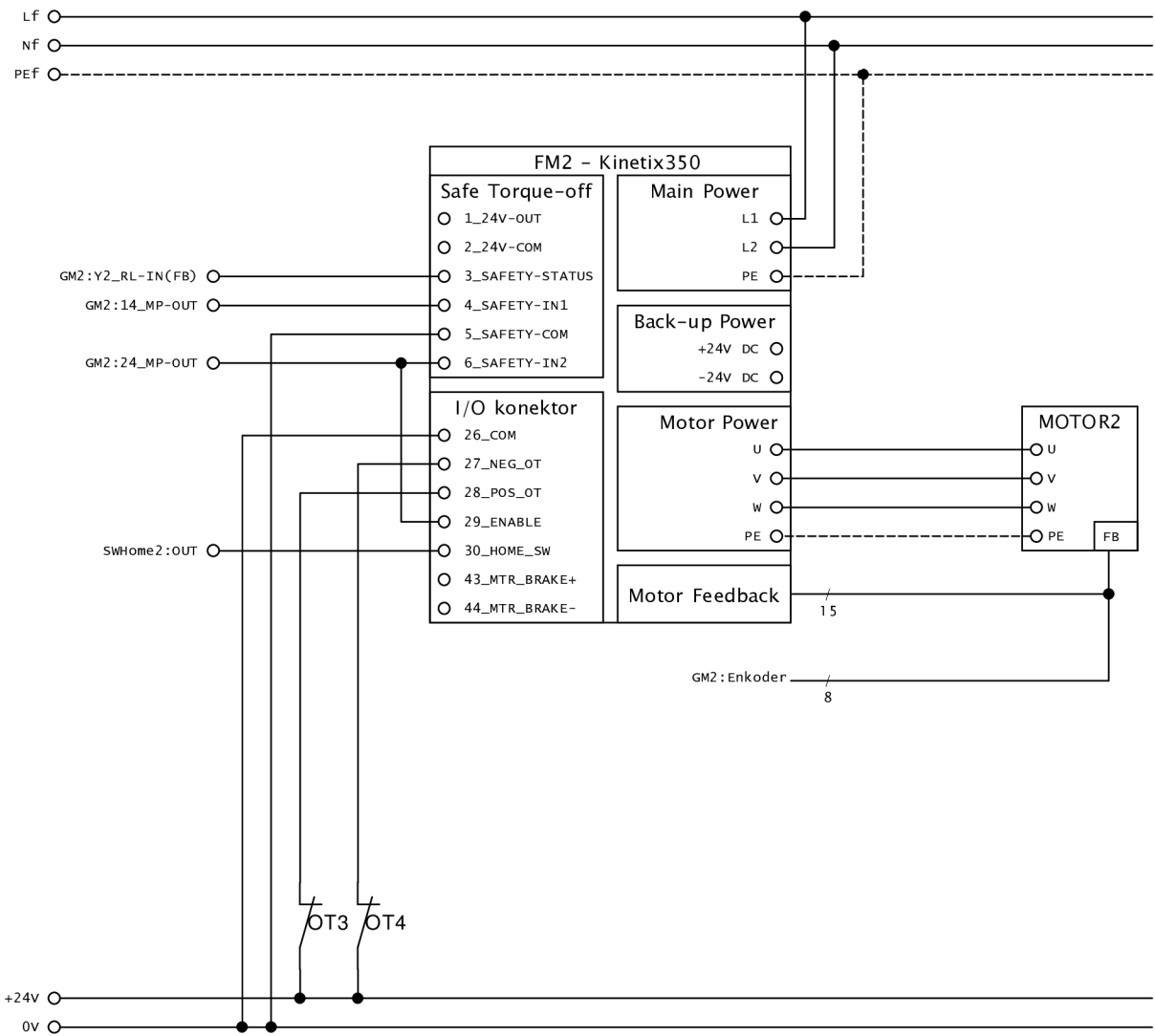


Název: Příloha A - Schéma napájení 24V		
Index:	Datum: 22. 12. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		

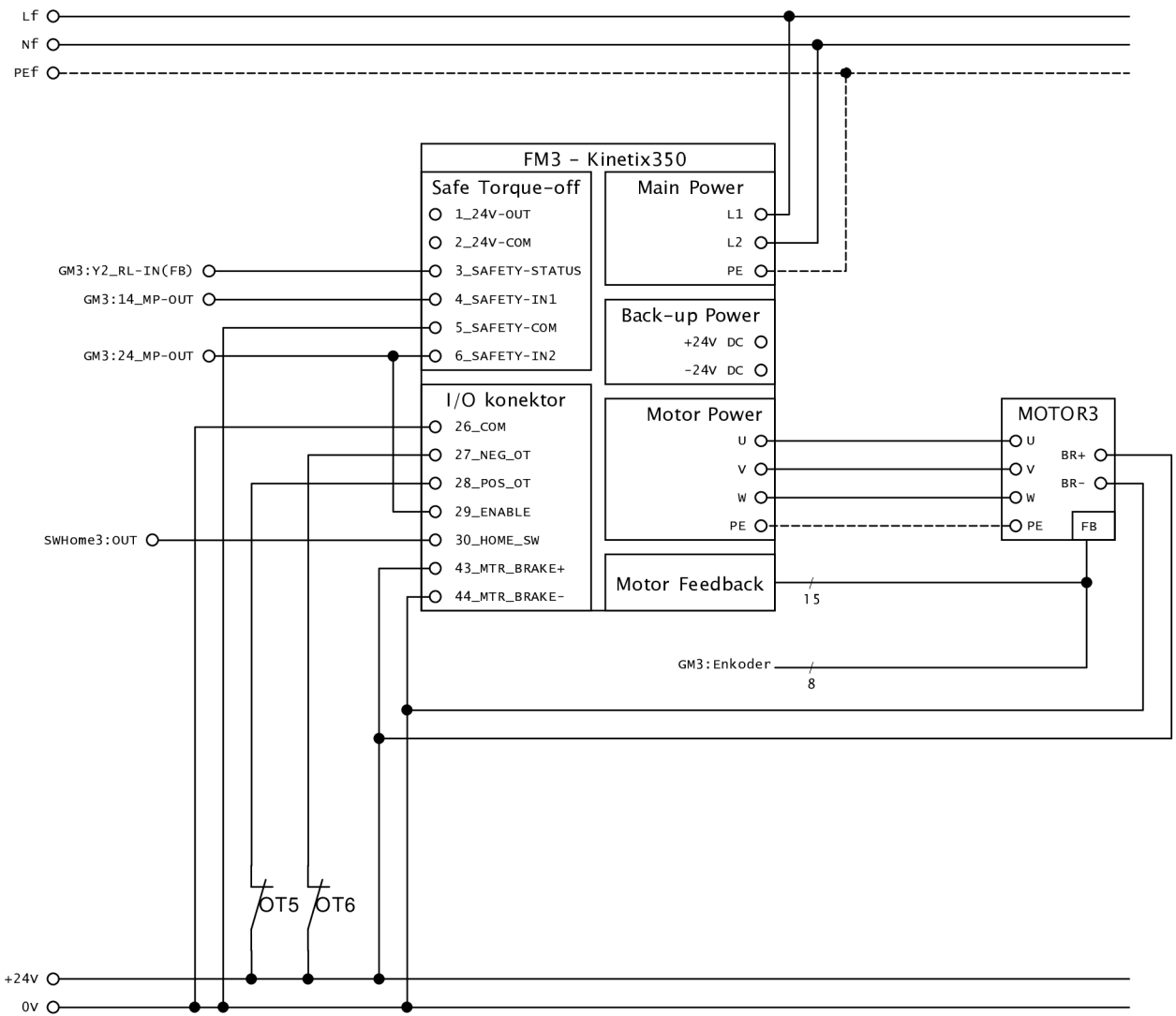


Název: Příloha A - Zapojení FM1		
Index:	Datum: 9. 11. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		

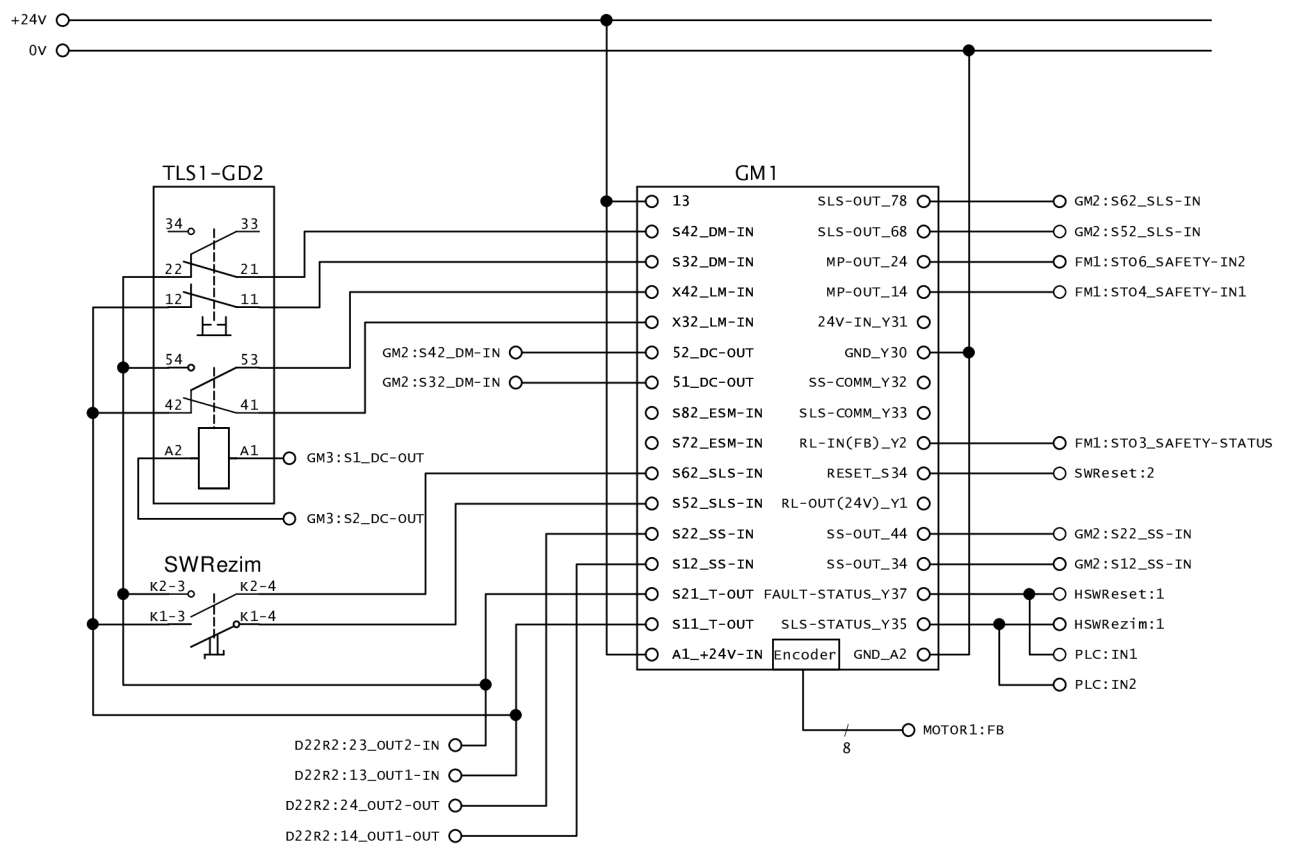




Název: Příloha A - Zapojení FM2		
Index:	Datum: 9. 11. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		



Název: Příloha A - Zapojení FM3		
Index:	Datum: 9. 11. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		



Název: Příloha A - Zapojení GM1

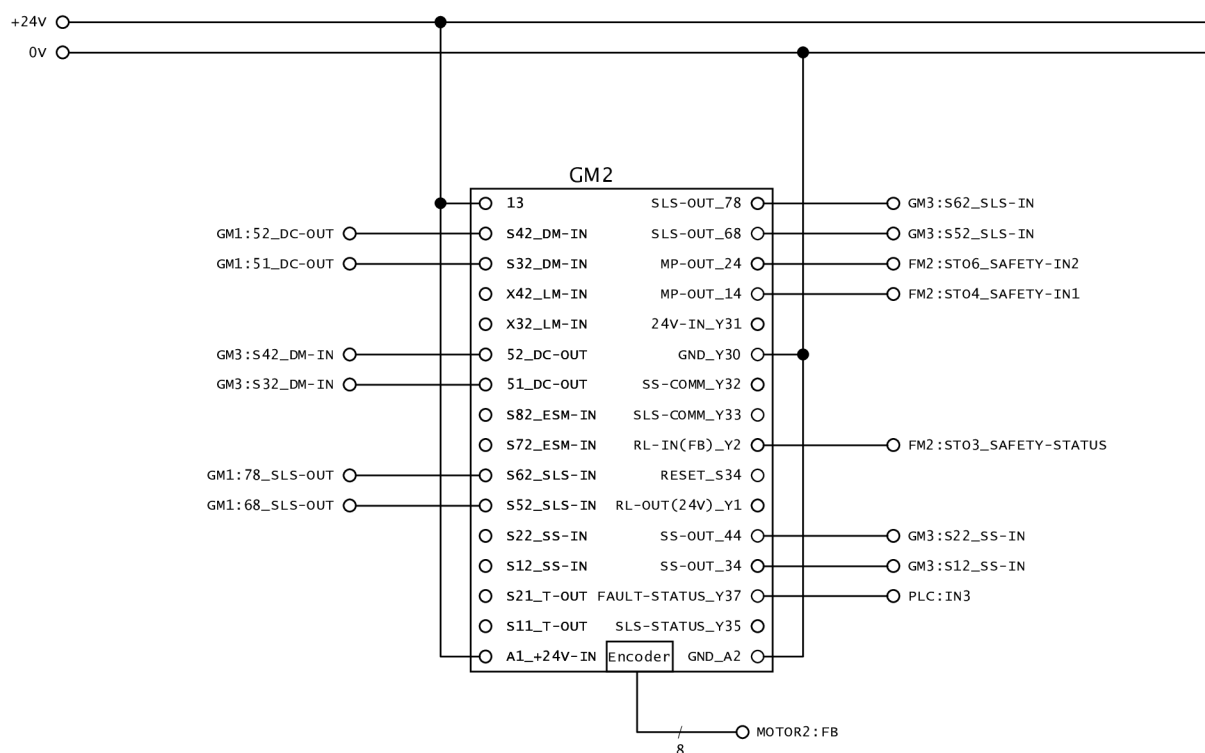
Index:

Datum: 9. 11. 2014

List:

Autor: Bc. Martin Maléf

Revize:



Název: Příloha A - Zapojení GM2

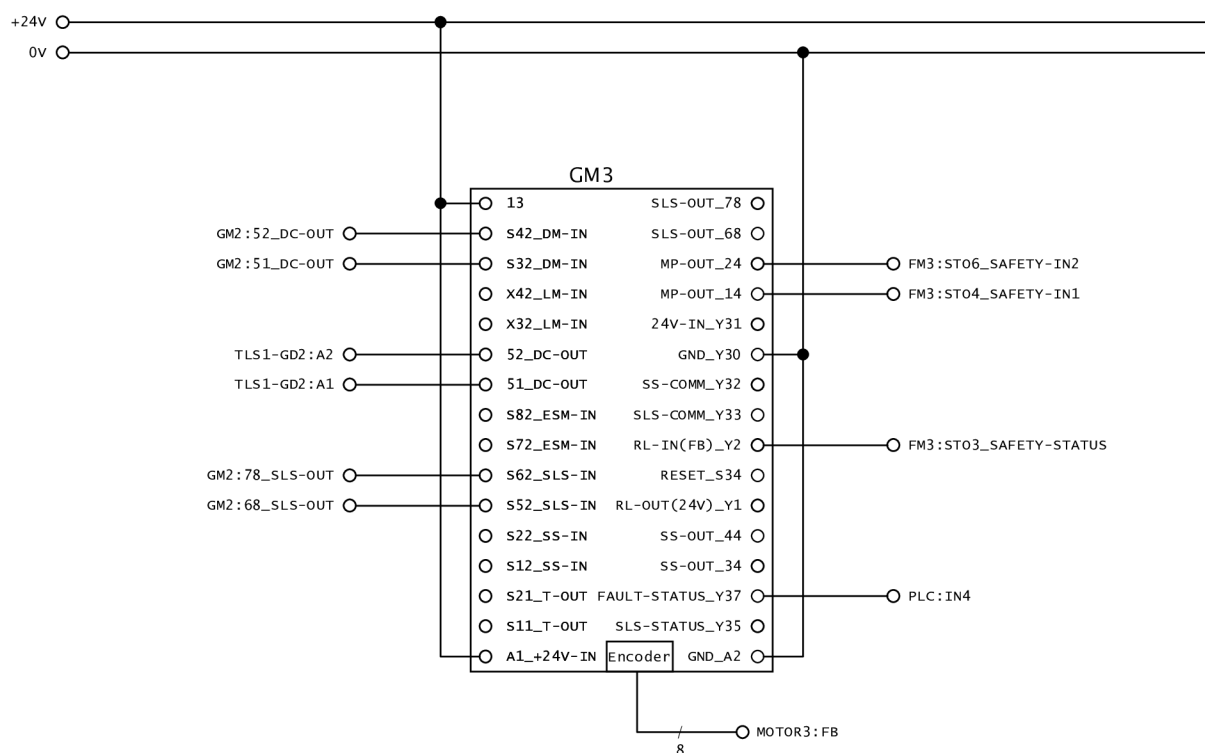
Index:

Datum: 9. 11. 2014

List:

Autor: Bc. Martin Maléř

Revize:



Název: Příloha A - Zapojení GM3

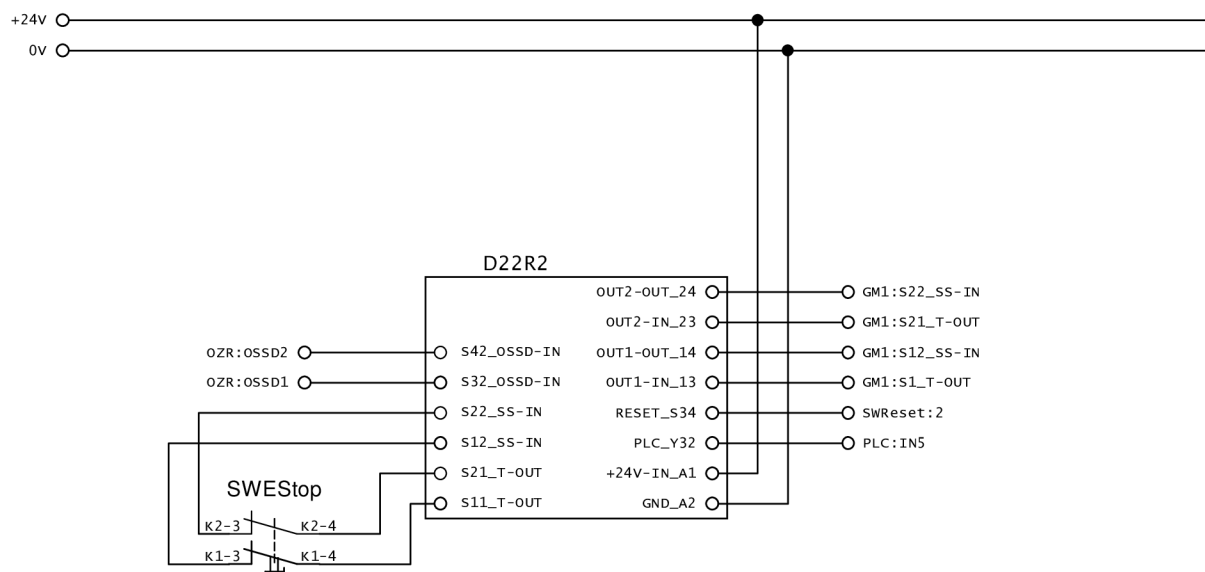
Index:

Datum: 9. 11. 2014

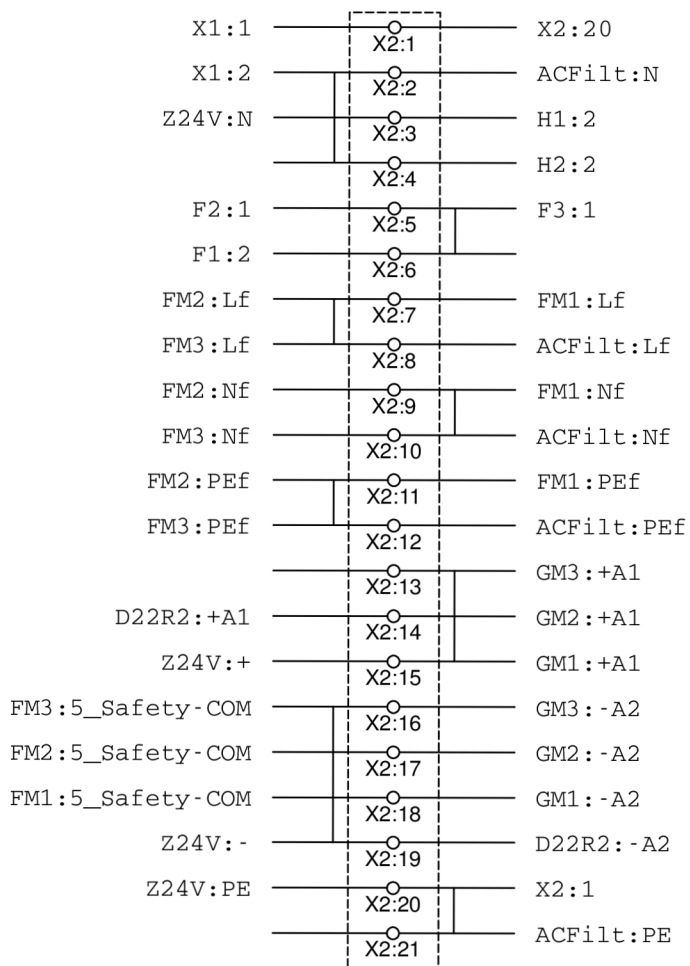
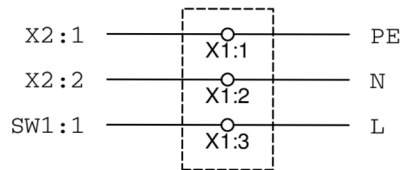
List:

Autor: Bc. Martin Maléř

Revize:



Název: Příloha A - Zapojení D22R2		
Index:	Datum: 9. 11. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		



Název: Příloha A - Zapojení svorkovnic X1, X2

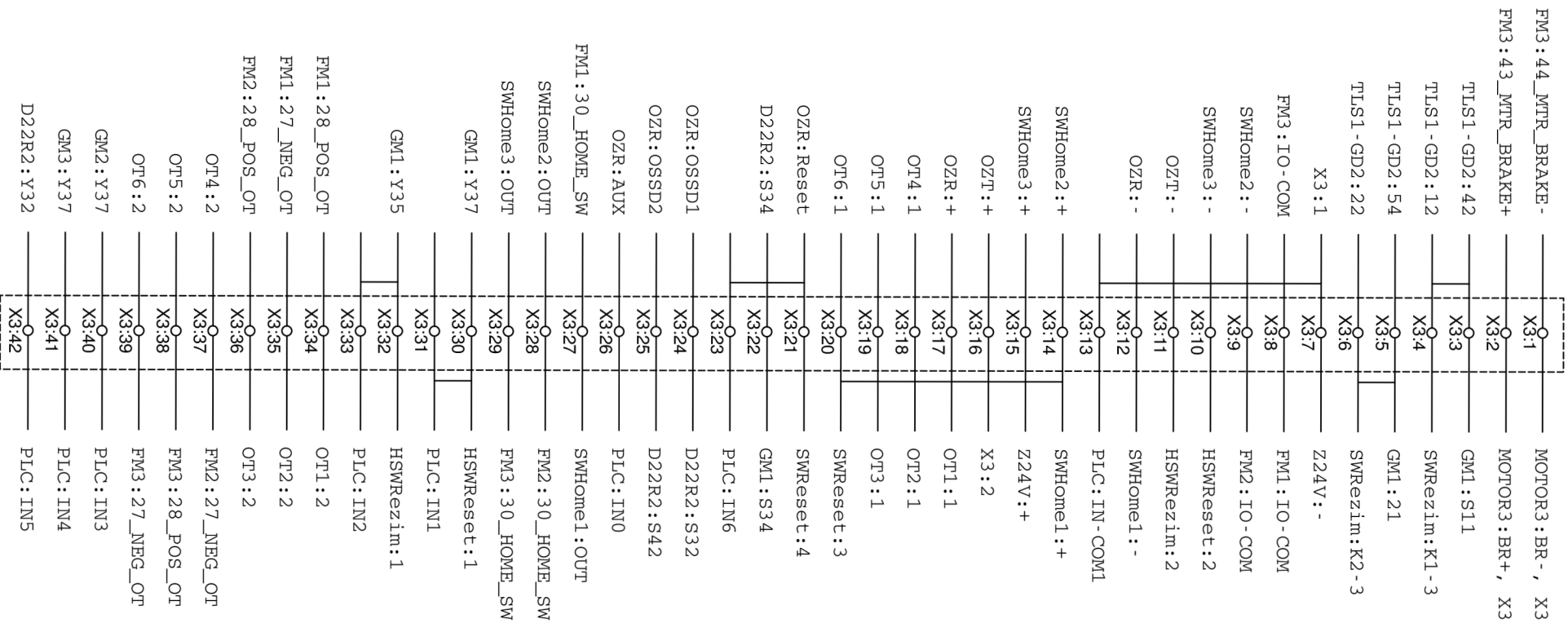
Index:

Datum: 26. 9. 2014

List:

Autor: Bc. Martin Maléf

Revize:



Název: Příloha A - Zapojení svorkovnice X3		
Index:	Datum: 26. 10. 2014	List:
Autor: Bc. Martin Maléf		
Revize:		



## C OBSAH PŘILOŽENÉHO CD-ROM

- DP\_Maler\_Martin.pdf
- DP\_PrilohaA\_Schemata.pdf - schémata zapojení elektroinstalace
- FTVS7ME\_Manipulator.apa - zdrojový kód vizualizace pro FactoryTalk View Studio ME 7
- RSL5000\_Manipulator.acd - zdrojový kód řídicího programu pro RSLogix5000
- RSL5000\_Manipulator\_Report.pdf - výpis kódu řídicího programu
- SAB\_Manipulator.sab - projekt bezpečnosti pro Safety Automation Builder
- SAB\_Manipulator.xlsx - výpis bezpečnostních funkcí ze Safety Automation Builder
- SISTEMA\_Manipulator.pdf - výpis projektu ze SISTEMA
- SISTEMA\_Manipulator.ssm - projekt bezpečnosti pro SISTEMA