



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## POSOUZENÍ RIZIK ELEKTRONICKÉHO BARMANA S POHONEM MAGNEMOTION

RISK ASSESSMENT OF THE BARMAN MACHINE POWERED BY MAGNEMOTION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Jirků

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, Ph.D.

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Lukáš Jirků

**ID:** 203529

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Posouzení rizik elektronického barmana s pohonem Magnemotion**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Popište konstrukci automatizovaného panákovače, řídicí PLC s průmyslovým standardem Ethernet/IP.
2. Popište technologii MagneMotion a navrhňte výměnu pneumatického posuvu za elektrický.
3. Proveďte posouzení rizik strojního zařízení.
4. Na základě návrhu realizujte potřebná bezpečnostní opatření.
5. Validujte své řešení.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Safebook 5. Principles of Machine Safety – Legislation, Theory and Practice. Rockwell Automation. 2016. 150 s.  
MagneMover LITE User Manual. Rockwell Automation Publication MMI-UM002E-EN-P, March 2016

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 18.5.2022

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

**doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**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**

Tato diplomová práce se zabývá posouzením rizik strojního zařízení, konkrétně modelem automatizovaného barmana. Součástí práce je i výměna pneumatického posuvu za elektrický lineární dopravník využívající technologie MagneMotion. V teoretické části práce je popsán model automatizovaného barmana, technologie nezávislých vozíků MagneMotion a bezpečnostní technologie GuardLink. Následuje vypracování posouzení rizik na strojní zařízení dle normy ČSN EN ISO 12 100. Další část práce popisuje návrhy a realizaci výměny dopravníků a bezpečnostních opatření snižujících rizika vyplývajících z vypracovaného posouzení rizik. Závěrem jsou ověřena realizovaná bezpečnostní opatření.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Automatický barman, PLC, EtherNet/IP, MagneMotion, MagneMover LITE, Posouzení rizik, Analýza rizik, Bezpečnost, GuardLink, SISTEMA

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the risk assessment of machinery, specifically the automated bartender model. The thesis includes the replacement of a pneumatic feeder with an electric linear conveyor using MagneMotion technology. The theoretical part of the thesis describes the automated bartender model, MagneMotion independent trolley technology and GuardLink safety technology. This is followed by the development of a risk assessment on the machinery according to ČSN EN ISO 12 100. The next part of the thesis describes the design and implementation of conveyor replacement and safety measures to reduce the risks resulting from the risk assessment. Finally, the implemented safety measures are verified.

## **KEYWORDS**

Automatic Bartender, PLC, EtherNet/IP, MagneMotion, MagneMover LITE, Risk Assessment, Risk Analysis, Safety, GuardLink, SISTEMA

JIRKŮ, Lukáš. *Posouzení rizik elektronického barmana s pohonem MagneMotion*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2022, 82 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Bc. Lukáš Jirků
<b>VUT ID autora:</b>	203529
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2021/22
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Posouzení rizik elektronického barmana s pohonem MagneMotion

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

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

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Automatizovaný barman</b>	<b>13</b>
1.1 Podavač sklenic . . . . .	13
1.2 Dopravník sklenic . . . . .	14
1.3 Hlavní konstrukce barmana . . . . .	15
1.4 PLC . . . . .	16
<b>2 EtherNet/IP</b>	<b>17</b>
2.1 CIP . . . . .	17
<b>3 MagneMotion</b>	<b>19</b>
3.1 Lineární synchronní motor . . . . .	20
3.2 Komponenty dopravníkového systému . . . . .	21
3.3 Architektura systému . . . . .	22
3.3.1 Host Controller . . . . .	22
3.3.2 High Level Controller . . . . .	23
3.3.3 Node Controller . . . . .	23
3.3.4 Motor . . . . .	23
<b>4 GuardLink</b>	<b>24</b>
4.1 Bezpečnostní relé DG . . . . .	25
4.1.1 Stavby bezpečnostního relé . . . . .	26
4.2 Síťové rozhraní Guardmaster EtherNet/IP . . . . .	27
4.3 Odbočky . . . . .	28
<b>5 Posouzení rizik</b>	<b>30</b>
5.1 Určení mezních hodnot . . . . .	30
5.2 Identifikace nebezpečí . . . . .	31
5.3 Odhad rizika . . . . .	32
5.4 Zhodnocení rizika . . . . .	33
5.5 Snížení rizika . . . . .	33
<b>6 Návrh rekonstrukce barmana</b>	<b>35</b>
6.1 Návrh výměny pneumatického posuvu za elektrický MagneMover LITE	35
6.2 Úpravy v elektrickém zapojení barmana . . . . .	37
6.3 Návrh systému GuardLink . . . . .	38
6.3.1 E-Stop . . . . .	38

6.3.2	Bezkontaktní bezpečnostní senzor . . . . .	39
6.3.3	Bezpečnostní zámek . . . . .	39
6.3.4	Bezpečnostní světelná závora . . . . .	40
6.3.5	Výstupní obvod . . . . .	41
6.4	Návrh topologie sítě . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Realizace</b>	<b>43</b>
7.1	Výměna dopravníku . . . . .	43
7.1.1	Konfigurační soubory . . . . .	44
7.1.2	Řídicí software PLC . . . . .	46
7.2	Úpravy v elektrickém zapojení barmana . . . . .	48
7.3	Systém GuardLink . . . . .	49
7.3.1	Konfigurace bezpečnostního relé DG . . . . .	49
7.3.2	Síťové rozhraní pro EtherNet/IP . . . . .	50
7.3.3	Výpočet poklesu napětí systému GuardLink . . . . .	51
7.3.4	Výpočet doběhu stroje . . . . .	52
7.3.5	Umístění bezpečnostních zařízení . . . . .	53
7.4	Úpravy řídicího softwaru . . . . .	55
7.4.1	Komunikace mezi automaty . . . . .	55
7.4.2	Ifm electronic . . . . .	58
7.4.3	CompactLogix . . . . .	60
<b>8</b>	<b>Ověření bezpečnostních opatření</b>	<b>64</b>
	<b>Závěr</b>	<b>65</b>
	<b>Literatura</b>	<b>67</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>69</b>
<b>A</b>	<b>Seznam elektronických příloh</b>	<b>70</b>
<b>B</b>	<b>Schéma elektrického zapojení barmana</b>	<b>71</b>
<b>C</b>	<b>Protokol z měření doběhu</b>	<b>76</b>
<b>D</b>	<b>Zkrácený report SISTEMA</b>	<b>78</b>



# Seznam obrázků

1.1	Pohled na barmana . . . . .	13
1.2	Podavač sklenic . . . . .	14
1.3	Výtah na sklenice . . . . .	15
1.4	Hlavní konstrukce barmana [1] . . . . .	16
1.5	PLC AC1421 [3] . . . . .	16
2.1	Komunikační model s využitím protokolu CIP [4] . . . . .	18
3.1	MagneMover Lite [6] . . . . .	19
3.2	Lineární synchronní motor odvozený od rotačního motoru [7] . . . . .	20
3.3	Topologie motoru [7] . . . . .	21
3.4	Podrobný pohled na součásti přepravního systému MM LITE [7] . . . . .	21
3.5	Zjednodušený pohled na součásti přepravního systému MM LITE [7] . . . . .	23
4.1	GuardLink System . . . . .	24
4.2	Bezpečnostní relé 440R-DG2R2T [13] . . . . .	25
4.3	Komunikační rozhraní 440R-ENETR [13] . . . . .	27
4.4	Odbočky . . . . .	28
6.1	Upevnění motoru MM LITE k desce stolu [7] . . . . .	35
6.2	Umístění konektorů a otvorů pro montáž motoru [7] . . . . .	36
6.3	Umístění montážních otvorů puku [7] . . . . .	36
6.4	Návrh zapojení obvodu GuardLink . . . . .	38
6.5	Návrh bezpečnostní funkce 1 . . . . .	38
6.6	Bezkontaktní bezpečnostní spínač SensaGuard [14] . . . . .	39
6.7	Návrh bezpečnostní funkce 2 . . . . .	39
6.8	Bezpečnostní zámek [15] . . . . .	40
6.9	Návrh bezpečnostní funkce 3 . . . . .	40
6.10	Bezpečnostní světelná závora [16] . . . . .	41
6.11	Návrh bezpečnostní funkce 4 . . . . .	41
6.12	Návrh topologie sítě . . . . .	42
7.1	Finální uchycení motoru k desce stolu . . . . .	43
7.2	Nový držák výtahu a podtácek pro sklenici . . . . .	44
7.3	Webové rozhraní Node Controlleru . . . . .	46
7.4	Ukázka programu subroutine MessageRoutine . . . . .	47
7.5	Hlavní vypínač . . . . .	48
7.6	Přidání komunikačního rozhraní do hardwarové konfigurace . . . . .	51
7.7	Nástroj pro výpočet poklesu napětí v systému GuardLink . . . . .	51
7.8	Umístění optické závory . . . . .	53
7.9	Umístění bezpečnostního zámku a bezkontaktního snímače . . . . .	54
7.10	Ovládací stanice . . . . .	54

7.11	Přehled nastavené komunikace automatu AC1421 . . . . .	55
7.12	Volání modulů operace pro pneumatické válce . . . . .	59
7.13	Hardwarová konfigurace v prostředí Studio 5000 . . . . .	60
7.14	Ukázka kódu ovládání zámku dveří . . . . .	61
7.15	Stavový diagram programu pro výdej sklenice . . . . .	62
7.16	Tlačítka pro manuální ovládání barmana . . . . .	63
8.1	Ověření bezpečnostních funkcí v programu SISTEMA . . . . .	64

# Seznam tabulek

3.1	Nosnost jednotlivých provedení puků . . . . .	22
5.1	Určení úrovně bezpečnostní funkce . . . . .	34
7.1	Konfigurace bezpečnostního relé DG . . . . .	50
7.2	Síťové nastavení komunikačního rozhraní 440R-ENETR . . . . .	50
7.3	Tabulka s časy doběhu jednotlivých zařízení . . . . .	52
7.4	Digitální vstupy . . . . .	56
7.5	Digitální výstupy . . . . .	57
7.6	Komunikace z automatu AC1421 do automatu CompactLogix . . . . .	57
7.7	Komunikace z automatu CompactLogix do automatu AC1421 . . . . .	57
7.8	Popis struktury operace . . . . .	58
7.9	Signalizace stavů barmana . . . . .	60
7.10	Seznam definovaných fází . . . . .	61

# Úvod

V moderní průmyslové automatizaci je bezpečnost strojních zařízení jednou z nejdůležitějších částí každého stroje, zařízení nebo systému. Především se jedná o sadu opatření, jejichž cílem je zamezení vystavení lidské obsluhy různým druhům nebezpečí (elektrickým, mechanickým, atd.) vznikajících při fungování strojního zařízení. Problematika zajištění bezpečnosti strojů není nijak jednoduchá a zahrnuje mnoho norem a úkonů. Bezpečností strojního zařízení je nutné se zabývat již od začátku návrhu stroje a poté ji co nejlépe zahrnout do samotné konstrukce stroje.

Tato diplomová práce se zabývá rekonstrukcí automatizovaného barmana, která má dva cíle. Prvním cílem práce je výměna aktuálního pneumatického posuvu za elektrický lineární pohon využívající technologii MagneMotion. Druhý cíl práce je zaměřen na strojní bezpečnost barmana. Především se jedná o vypracování posouzení rizik strojního zařízení a na jeho základě provést potřebné bezpečnostní opatření tak, aby toto strojní zařízení splňovalo příslušné legislativní požadavky pro bezpečnost strojních zařízení.

První část práce je spíše teoretická a slouží pro seznámení se se strojním zařízením s nímž se bude pracovat a s použitými technologiemi. Nejdříve je tedy popsán samotný model automatizovaného barmana a jeho jednotlivé části, řídicí PLC a průmyslový standart EtherNet/IP. Dále práce popisuje technologii MagneMotion, což je technologie nezávislých vozíků, která je základem pro nové inteligentní dopravníkové systémy, využívající k pohybu lineární motory. Poslední teoretickou částí práce je popis technologie GuardLink. Technologie GuardLink je komunikační bezpečnostní protokol využívající soubor komponent pro jednoduché sériové zapojení bezpečnostních zařízení při dosažení nejvyššího stupně průmyslové bezpečnosti.

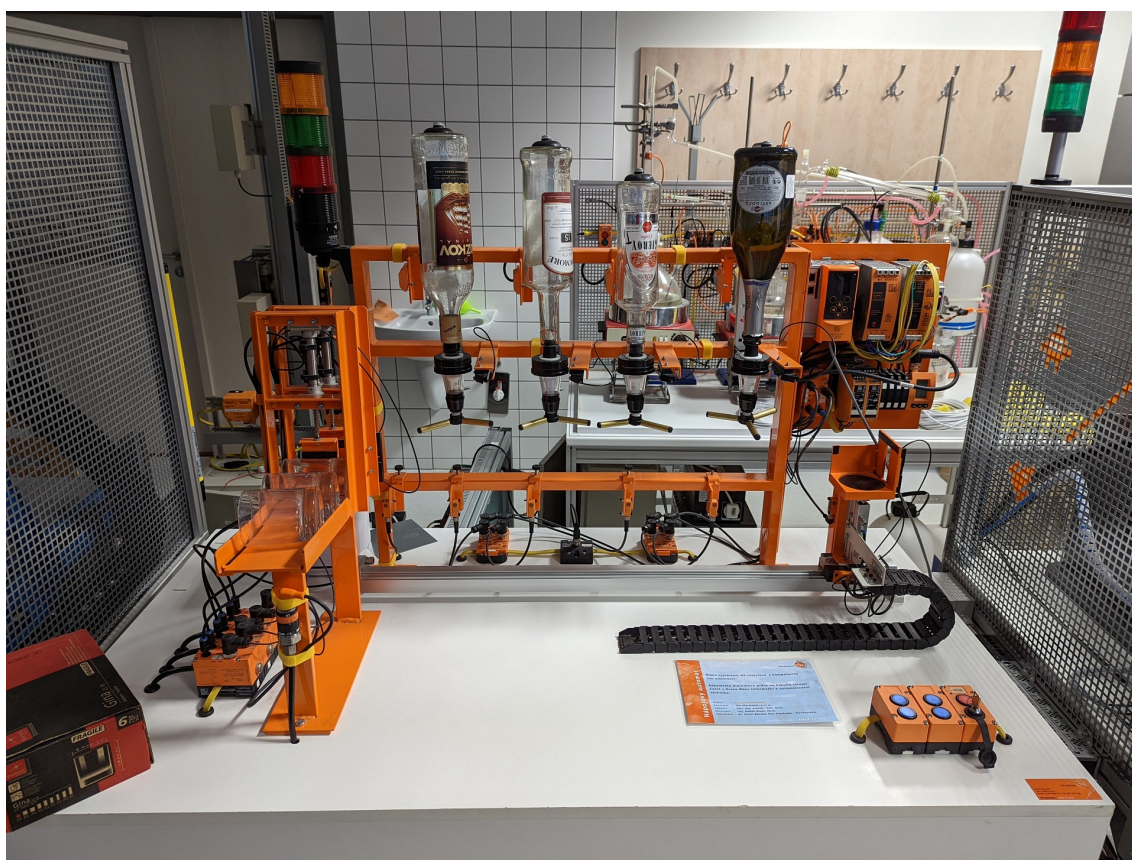
Další část práce se zabývá posouzením rizik automatizovaného barmana. Posouzení rizik je provedeno dle normy ČSN EN ISO 12 100, kde se skládá z několika po sobě jdoucích kroků. První částí je analýza rizika, která se skládá z určení mezních hodnot stroje, identifikace nebezpečí a odhadu rizika pro každé identifikované nebezpečí. Druhá část posouzení rizik je zhodnocení rizika, zda je nutné provést omezení rizik. Posouzení rizika je následováno, pokud je to nezbytné, snížením rizika.

Následuje kapitola popisující návrhy na rekonstrukci barmana. Je zde popsán návrh výměny pneumatického posuvu za elektrický dopravník MagneMotion. Další návrhy na úpravy jsou zaměřeny na bezpečnost modelu barmana, které vyplývají z posouzení rizik a jejich nutného snížení. Další kapitola popisuje realizaci navrhovaných úprav na modelu barmana.

Poslední část práce je zaměřena na evaluaci rizik dle normy ČSN EN ISO 13 849-1. Pro ověření realizovaných bezpečnostních opatření byl použit softwarový nástroj SISTEMA.

# 1 Automatizovaný barman

Barman slouží k automatické přípravě nápojů podle zadání. Hlavní část modelu automatizovaného barmana se nachází na desce stolu. Pod deskou stolu je umístěn přívod elektrické energie a kompresor s rozvodem vzduchu. Barman se skládá ze tří samostatných částí, a to z podavače sklenic, dopravníku s výtahem pro sklenice a hlavní konstrukce držící láhve s dávkovači a řídicí elektronikou. Na desce stolu se dále nachází elektronika pro ovládání pneumatických prvků barmana, moduly pro distribuované vstupy/výstupy a v pravém dolním rohu stolu je umístěna ovládací krabice s pěti tlačítky a klíčkem.

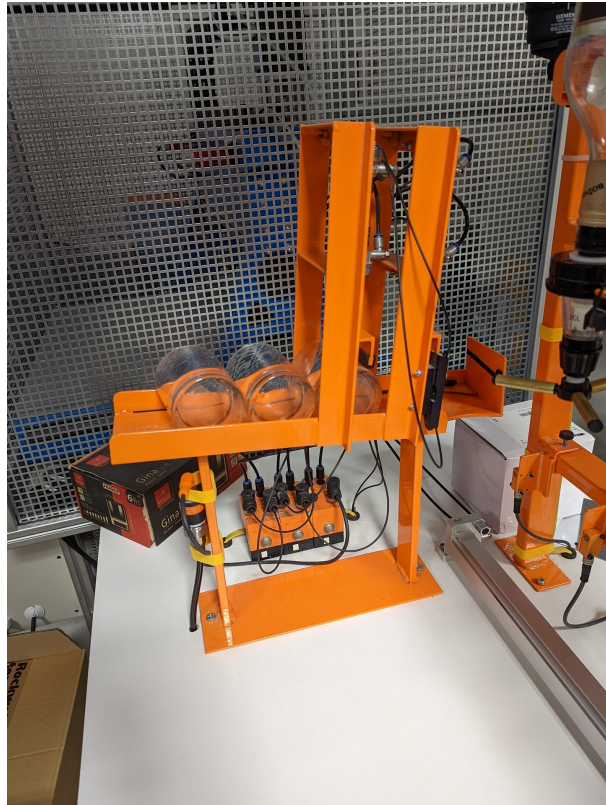


Obr. 1.1: Pohled na barmana

## 1.1 Podavač sklenic

Podávání sklenic je řešené především po mechanické stránce, kde hlavní částí konstrukce je nakloněná rovina, která zároveň slouží jako zásobník sklenic. Na spodním okraji nakloněné roviny je pevná zarážka a výřez na pravé straně roviny. Tato zarážka a výřez slouží k zastavení a přesunutí sklenice na výtah. K přesunu sklenice

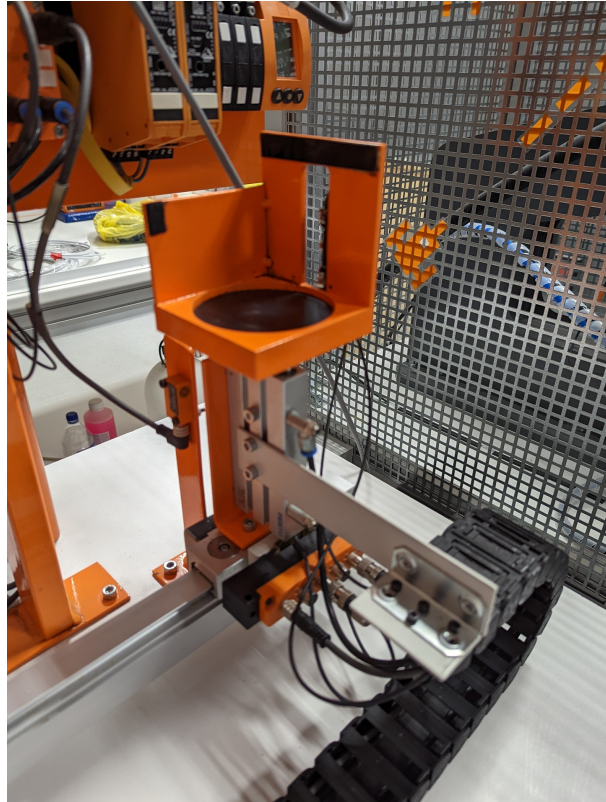
dochází díky jejímu tlustému dnu a gravitaci, kdy se sklenice převáží a spadne do výtahu. Dále rovina obsahuje dvě pohyblivé zarážky ovládané pomocí pneumatických pístů, které slouží k oddělení a přípravě jedné sklenice na přesun. U spodní pohyblivé zarážky se také nachází jeden optický senzor přítomnosti sklenice.



Obr. 1.2: Podavač sklenic

## 1.2 Dopravník sklenic

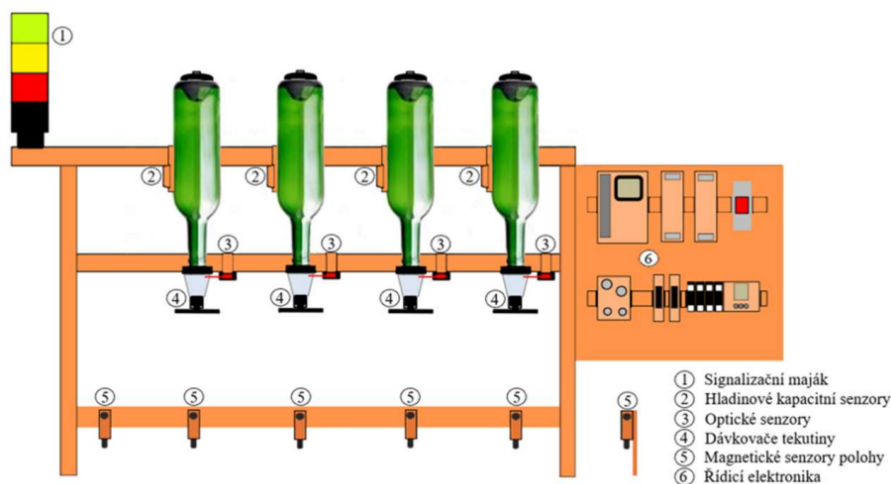
Aktuálně je doprava sklenic mezi definovanými pozicemi realizována pomocí pneumatického přímočarého posuvu, na kterém je umístěn vozíček se sklenicí. Na dopravníku je celkem šest definovaných pozic, a to pozice pro výdej sklenice ze zásobníku, čtyři pozice pod lahvemi pro čepování nápoje a koncová pozice pro odebrání sklenice s připraveným nápojem. Přesné pozicování vozíčku zajišťují magnetické senzory, které jsou upevněné na hlavní konstrukci barmana a připevněný magnet na zadní straně vozíčku. Dále je na vozíčku dopravníku umístěný pneumatický dvoupístový válec, který funguje jako výtah. Výtah zajišťuje čepování nápoje do sklenice. V pozici pod lahví se výtah se sklenicí vysune a tím dojde ke stlačení dávkovače, který se vyprázdní do sklenice. Následně se výtah zasune zpět a je připraven k přesunu na další pozici.



Obr. 1.3: Výtah na sklenice

### 1.3 Hlavní konstrukce barmana

Hlavní konstrukce a její rozvržení je znázorněno na obrázku 1.4. Prostřední část hlavní konstrukce obsahuje čtyři držáky na láhve s dávkovači, které dávkují nápoj po odměřených dávkách. Konstrukce v této části je rozdělena do tří pater. K vrchnímu patru jsou připevněné kapacitní snímače hladiny, které měří hladinu tekutiny v jednotlivých lahvích. Prostřední patro obsahuje optické snímače přítomnosti, které detekují správné umístění láhve s dávkovačem. Spodní patro obsahuje již výše zmíněné magnetické snímače pro detekci vozíčku v dané pozici. Dále je v levém horním rohu uchycený signalizační sloupek se třemi barvami. Na pravé straně je připevněn panel s řídicí elektronikou, napájecími zdroji, hlavním vypínačem a dalšími řídicími a s nimi spojenými komponenty.



Obr. 1.4: Hlavní konstrukce barmana [1]

## 1.4 PLC

Programovatelný automat použitý pro řízení barmana je AC1421 od firmy ifm electronic. Kontrolér zajišťuje rychlou a spolehlivou výměnu dat na nejnižší úrovni řízení. Dále obsahuje integrované sběrnice rozhraní AS-Interface pomocí, kterého lze snadno připojit vstupně/výstupní moduly pomocí jednoho kabelu. Programování automatu probíhá pomocí rozhraní EtherNet a má možnost komunikovat s vyšší vrstvou řízení pomocí EtherNet/IP. Automat obsahuje vlastní web server a podporuje vývojové prostředí CODESYS. [3]



Obr. 1.5: PLC AC1421 [3]



## 2 EtherNet/IP

Standard EtherNet/IP neboli „EtherNet/Industrial Protocol“ je jeden z vysoce používaných standardů průmyslového Ethernetu, který byl vyvinut pro průmyslovou automatizaci. Síť EtherNet/IP je plně kompatibilní se standardní sítí Ethernet podle normy IEEE 802.3 a využívá neupravené vrstvy komunikačního modelu od fyzické, přes vrstvu protokolů TCP/IP, až po aplikační vrstvu. V rámci EtherNet/IP jsou jednotlivým ethernetovým uzlům přiřazeny předem definované typy zařízení se specifickými vlastnostmi a funkcemi (profily). Profily zařízení a aplikační vrstva EtherNetu/IP jsou tvořeny protokolem CIP („Common Industrial Protocol“).

### 2.1 CIP

CIP je objektově orientovaný protokol, který zahrnuje komplexní sadu zpráv a služeb pro různé aplikace automatizace výroby, včetně řízení, bezpečnosti, zabezpečení, energie, synchronizace a pohybu, správy informací a sítě. Protokol CIP využívá komunikaci na principu producent-konzument. Každé zařízení je podle protokolu reprezentováno skupinou objektů. Každý objekt obsahuje atributy (data), služby (příkazy) a specifikaci funkcí (reakce na události). V rámci CIP je definováno, jaká data musí obsahovat každý objekt (povinné, aplikační a objekty definované výrobcem).

Povinné objekty jsou:

- objekt identifikující zařízení
- objekt specifikující předávání zpráv
- objekt pro správu spojení
- jeden nebo několik objektů s parametry konfigurace komunikační sítě

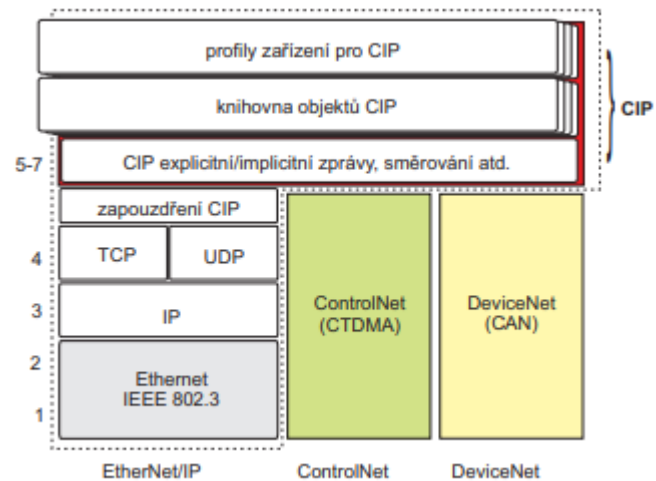
Profil zařízení tvoří aplikační objekty, které obsahují data specifická pro komunikující zařízení a jsou vázány na typ a funkci těchto zařízení. Výrobci si mohou specifikovat i vlastní zvláštní objekty.

V síti EtherNet/IP existují dva způsoby komunikace - explicitní a implicitní.

- explicitní přenos je realizován s použitím protokolů TCP/IP a je určen k přenosu typu žádost-odpověď mezi dvěma uzly sítě
- implicitní přenos je založen na protokolech UDP/IP a je určen pro cyklický přenos uživatelských, vstupních a výstupních dat

Na úrovni síťové vrstvy se zprávy CIP zapouzdřují do paketů TCP nebo UDP. Protokol CIP nabízí dva základní mechanismy komunikace – spojitou a nespojitou.

- spojitá komunikace představuje spojení na bázi protokolu CIP používané pro přenos rezervovaných zpráv, jako jsou přenosy I/O nebo přenos explicitních zpráv
- nespojitá komunikace je určena k navazování spojení protokolem CIP nebo pro přenos nepravidelných zpráv s nízkou prioritou



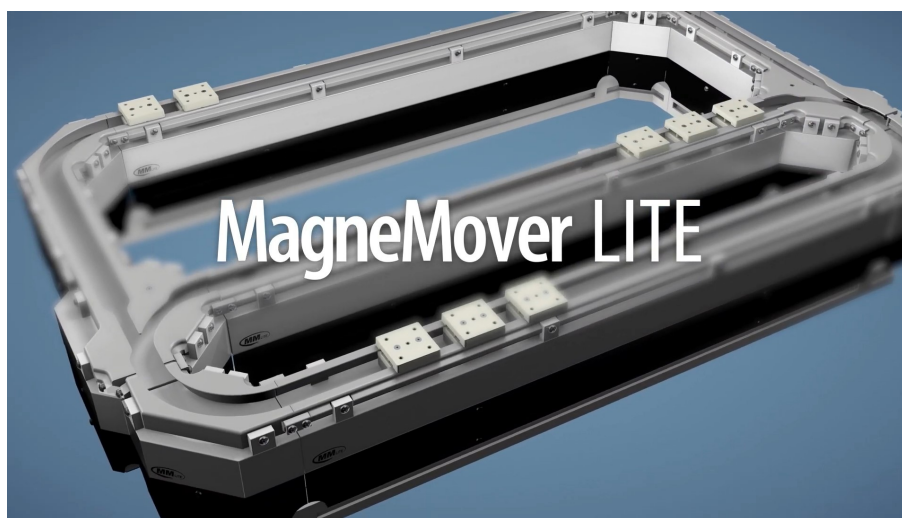
Obr. 2.1: Komunikační model s využitím protokolu CIP [4]

### 3 MagneMotion

MagneMotion je technologie nezávislých vozíků, která je základem pro nové inteligentní dopravníkové systémy, využívající k pohybu lineární motory. Technologie nezávislých vozíků dokáže pomocí magnetů přesně ovládat pohyb s pohonem bez tření. Základní vlastnosti této technologie jsou:

- Nezávislé řízení polohy, rychlosti a zrychlení každého vozíku
- Inteligentní řízení toku provozu pro maximální propustnost
- Modulárnost celého systému
- Vestavěná diagnostika

Výrobce nabízí různé řady technologie nezávislých vozíků, a to iTRAK, MagneMover LITE a QuickStick. iTRAK kombinuje lineární a rotační pohyb a je ideální pro přesouvání materiálů v rámci stroje. QuickStick je navržen k přesouvání středně těžkých až těžkých břemen. Pro účely této práce je použit přepravní systém MagneMover LITE (MM Lite), který je speciálně vyvinutý pro rychlý a přesný pohyb, polohování a sledování malých a lehkých břemen. [5]



Obr. 3.1: MagneMover Lite [6]

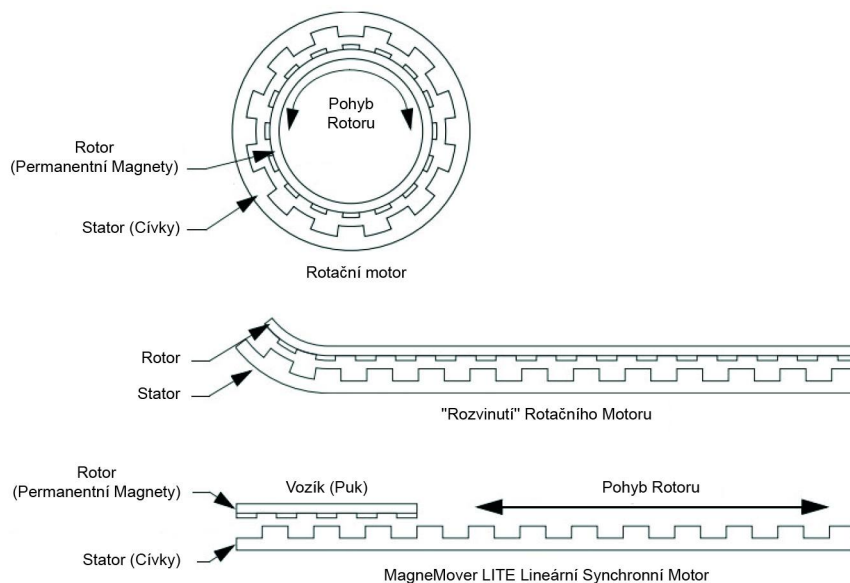
MagneMover LITE poskytuje opakovatelné polohování bez nutnosti pevných dorazů, obousměrný pohyb, plynulý pohyb a nepřetržité sledování a hlášení vozíčku (puku). Mezi základní vlastnosti patří:

- Integrovaný motor, měnič, řadič, polohování a navádění
- Opakovatelnost  $\pm 0,5mm$  pro přímé motory
- Opakovatelnost na procesních stanicích  $\pm 0,1mm$  s kalibrací

- Rychlost až  $2m/s$  a zrychlení až  $4m/s^2$
- Až 9 vozíčků v pohybu na metr a až 12 vozíčků ve frontě na metr
- Zátěž až  $2,5kg$  na jeden vozíček nebo až  $10kg$  na pár vozíčků [5]

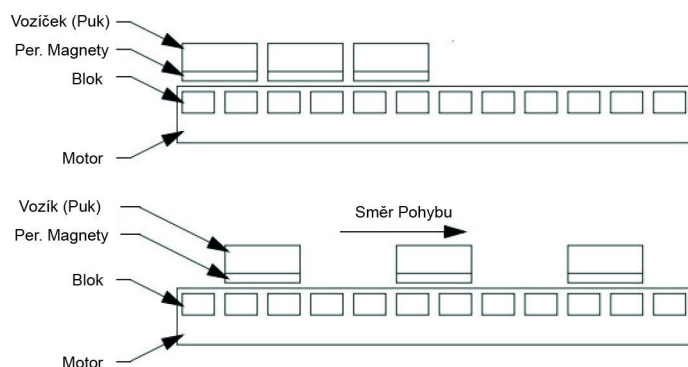
### 3.1 Lineární synchronní motor

MagneMover Lite využívají novou technologii lineárních synchronních motorů (LSM), které fungují podobně jako bezkartáčové stejnosměrné rotační motory. Primární část motoru (stator) a sekundární část motoru (rotor nebo kotva) jsou „rozvinuty“, aby umožnily lineární pohyb, jak je znázorněno na obrázku 3.2. Primární část motoru je řada cívek, které vytvářejí magnetické pole v motoru. Sekundární část motoru je soustava magnetů, která je připevněna k pohybujícímu objektu, který je označován jako vozík (puk). Primární část motoru vytváří magnetické pole, které řízeně pohybuje vozíkem (sekundární část motoru), jehož magnety se taktéž využívají ke sledování polohy vozíku. [7]



Obr. 3.2: Lineární synchronní motor odvozený od rotačního motoru [7]

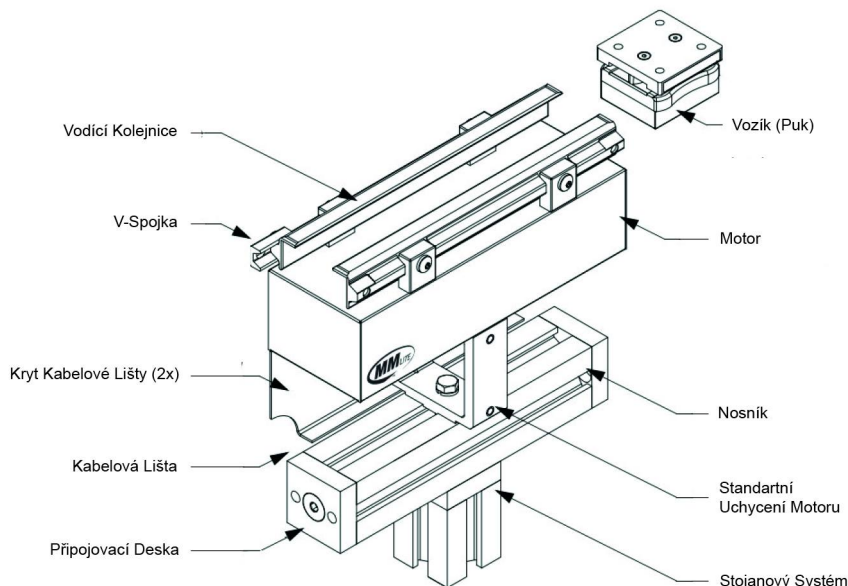
Každý motor MagneMover Lite je konstruován jako řada bloků (obrázek 3.3), kde každý blok je samostatná primární část motoru. Změna magnetické síly uvnitř bloku a jeho sousedů způsobuje pohyb puku v požadovaném směru a zajišťuje přesné polohování puků. Díky této topologii funguje i antikolizní funkce, která povoluje pouze jeden puk na jeden motorový blok. [7]



Obr. 3.3: Topologie motoru [7]

## 3.2 Komponenty dopravníkového systému

Podrobný pohled na jednotlivé komponenty dopravníkového systému MagneMover LITE je zobrazen na obrázku 3.4. Jak už bylo zmíněno výše, motor funguje na principu lineárních synchronních motorů, jehož stator je uložen v pouzdře společně s řídicí jednotkou motoru. Rotor motoru je označován jako vozíček nebo puk, na kterém je připevněna matice permanentních magnetů, díky které puk „klouže“ po motoru. Na obrázku jsou dále znázorněny další součásti pro správné uchycení motoru, jako například nosník a stojanový systém.



Obr. 3.4: Podrobný pohled na součásti přepravního systému MM LITE [7]

Motory jsou dodávané přímé, zatačky nebo výhybky. Přímé motory jsou dvou velikostí, a to 1 000 mm nebo 250 mm, přičemž menší z motorů většinou slouží jako kompenzace připojení zataček a výhybek. Zatačky i výhybky jsou pouze v pravoúhlém provedení s rádiem 125 mm. Všechny motory jsou také dodávané s nebo bez vodících kolejnic, které mají udržet puk ve správné pozici vůči motoru. Motory bez kolejnic jsou vhodné tam, kde se uplatní vlastní návrh řešení kolejnic. Většinou ve chvíli, kdy se upravuje puk nějakou nadstavbou uchycení přepravovaného nákladu.

Puky jsou dodávané také v několika provedení, které závisí na jejich nosnosti viz tabulka 3.1. Tandemový puk vznikne spojením dvou klasických puků. Pro větší nosnost puku existuje provedení s kolečkem, které může být také v tandemovém provedení. [7]

Provedení puku	Nosnost puku
Klasický	1 kg
Tandem	2 kg
Puk s kolečkem	2,5 kg
Tandem s kolečkem	10 kg

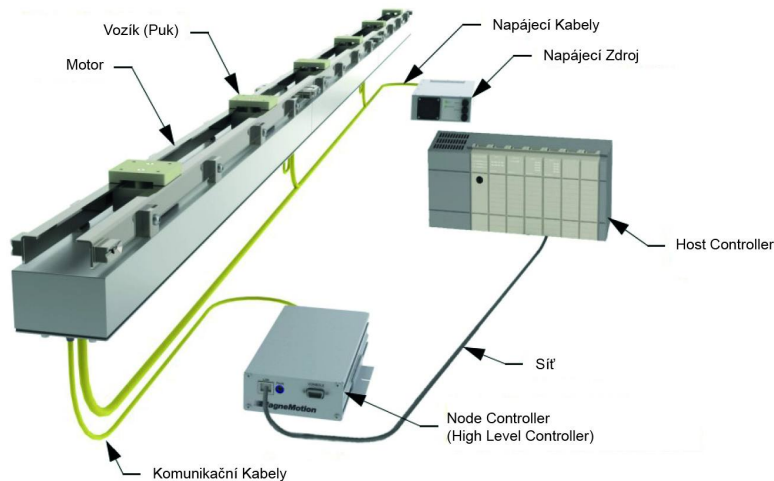
Tab. 3.1: Nosnost jednotlivých provedení puků

### 3.3 Architektura systému

V této části bude jednoduše popsána architektura systému MagneMover LITE, která je znázorněna na obrázku 3.5. Systém se skládá z Host Controlleru, High Level Controlleru, Node Controlleru a motorů.

#### 3.3.1 Host Controller

Host Controller je řadič, který dodává uživatel a může být buď na bázi PC nebo PLC. Na tomto řadiči je spuštěna uživatelská aplikace pro monitorování a řízení dopravního systému. Host Controller generuje pouze příkazy pro přesun jednotlivých puků. Nezpracovává tedy všechny operace směrování a řízení puků, čímž se minimalizuje zatížení Host Controlleru. Komunikuje s High Level Controller, do kterého posílá příkazy o poloze, rychlosti, zrychlení a zpomalení a během pohybu puku dostává zpět informace o aktuální poloze, rychlosti a dalších parametrech, jako určitou úroveň zpětné vazby. [7]



Obr. 3.5: Zjednodušený pohled na součásti přepravního systému MM LITE [7]

### 3.3.2 High Level Controller

High Level Controller (HLC) je softwarová aplikace běžící na jednom Node Controlleru, která zpracovává veškerou komunikaci s uživatelem dodaným Host Controllerem a podle potřeby směřuje komunikaci na jednotlivé Node Controllery. V každém systému musí být alespoň jeden High Level Controller. [7]

### 3.3.3 Node Controller

Node Controller koordinuje operace motorů a komunikuje s řídicí jednotkou High Level Controller. Po obdržení příkazu na novou pozici puku, Node Controller vygeneruje příkaz k pohybu a odešle jej příslušnému motoru, ve kterém se puk aktuálně nachází. [7]

### 3.3.4 Motor

Řídicí jednotka uvnitř motoru generuje profil pohybu na základě přijatých příkazů. Perioda vytváření nových bodů polohy, rychlosti a zrychlení je přibližně 1 ms. Řídicí jednotka dále kontroluje prázdné místo před vozíkem, aby nedošlo ke kolizi. Řídicí jednotka pokračuje v generování aktualizovaných profilů pohybu na základě příkazu a pokračuje v řízení puku na základě nových nastavených bodů profilu, dokud nedojde k tomu, že vozík je předán dalšímu motoru nebo dosáhne svého cíle. Při pohybu vozíku přes hranice motoru předá řídicí jednotka aktuálního motoru řízení řídicí jednotce v dalším motoru. Nová řídicí jednotka naváže na generování profilu tam, kde stará skončila. [7]

## 4 GuardLink

GuardLink je bezpečnostní komunikační protokol využívající standardní kabeláž v topologii „trunk and drop“ s připojením „plug and play“. Jedná se o soubor komponent pro jednoduché sériové zapojení bezpečnostních zařízení při dosažení nejvyššího stupně průmyslové bezpečnosti.



Obr. 4.1: GuardLink System

Základní vlastnosti této technologie jsou:

- Poskytuje diagnostické informace o každém zařízení v systému bez nutnosti vést samostatný stavový vodič zpět do řídicího systému stroje.
- Umožňuje současné nebo individuální uzamčení a odemčení ochranného zámku v sériovém zapojení systému.
- Lze připojit až 32 zařízení na kabel o délce až 1 000 metrů.
- Podporuje bezpečnostní zařízení s elektromechanickými nebo polovodičovými bezpečnostními výstupy.
- Přístup k informacím o bezpečnostním systému prostřednictvím sítě EtherNet/IP.
- Certifikováno pro aplikace do úrovně PLe, kat. 4 (ISO 13849-1) a SIL 3 (IEC 62061).

Typický systém GuardLink se skládá z následujících prvků:

- Jedno bezpečnostní relé DG (dual GuardLink) Guardmaster® (GSR)
- Jedna odbočka (Tap) pro každé bezpečnostní zařízení
- Jeden terminátor pro každý obvod GuardLink
- Patchcordy a kabelové sady
- Volitelné rozhraní do sítě Ethernet/IP[11]



## 4.1 Bezpečnostní relé DG

Základním prvkem systému GuardLink je DG (dual GuardLink) bezpečnostní relé 440R-DG2R2T (obrázek 4.2). Pomocí dvou tlačítek na čelní straně lze bezpečnostní relé nakonfigurovat až na 20 bezpečnostních funkcí s volitelným časovým zpožděním reléových výstupů:

- Monitorování dvou obvodů GuardLink, dvou bezpečnostních zařízení nebo jejich kombinací
- Použití SWS (Single Wire Safety) pro rozšíření
- Kategorie zastavení 0 nebo 1 (okamžité nebo zpožděné výstupy)
- Sledování stavu výstupních bezpečnostních zařízení
- Automatický nebo manuální reset
- Ovládání funkce uzamčení/odemčení pro bezpečnostní zámky



Obr. 4.2: Bezpečnostní relé 440R-DG2R2T [13]

Obvod GuardLink umožňuje sledovat stav systému za pomoci chytrých odboček, které jsou propojeny pouze čtyřmi vodiči. Dva vodiče zajišťují napájení a uzemnění odboček a zařízení. Třetí vodič (bezpečnostní signál GuardLink) provádí diagnostiku odboček a zařízení, která jsou připojena do systému, který je v bezpečném stavu. V provozním stavu přenáší také specifický dynamický bezpečnostní signál. Čtvrtý vodič (CLU) zajišťuje příkazy k uzamčení/odemčení zařízení pro bezpečnostní blokování v obvodu. [11]

## 4.1.1 Stav bezpečnostního relé

Bezpečnostní relé může být ve čtyřech stavech:

### Inicializace

Inicializační stav nastane při zapnutí napájení obvodu GuardLink a končí, když obvod přejde do bezpečného stavu. Během inicializace bezpečnostní relé provádí kontrolu obvodu:

- Všechna zařízení nastaví své číslo uzlu
- V obvodu není připojeno více jak 32 zařízení
- Firmware odboček je kompatibilní s firmwarem bezpečnostního relé
- Pokud je připojené rozhraní 440R-ENETR, ověřuje se získané nastavení s nastavením, které poskytuje Studio 5000 Add-On Profile (AOP)
- Ověřuje, zda je k obvodu připojen terminátor

Pokud kontrola proběhne úspěšně, přejde obvod GuardLink do bezpečného stavu.

### Bezpečný

V bezpečném stavu jsou všechny bezpečnostní výstupy vypnuty. Jakmile je na vstupním zařízení požadavek na bezpečnostní funkci, odbočka přestane vysílat bezpečnostní signál. Když bezpečnostní relé nedetekuje bezpečnostní signál přejde do bezpečného stavu.

### Provozní

Provozní stav systému GuardLink je ve chvíli, kdy bezpečnostní relé přijímá bezpečnostní signál z obvodu GuardLink. Bezpečnostní výstupy v tomto stavu mohou být vypnuty nebo zapnuty. Stav závisí na konkrétní konfiguraci a dalších vstupech bezpečnostního relé, jako jsou vstup pro sledování zpětné vazby a vstup pro resetování. Aby se obvod GuardLink vrátil do provozního stavu, musí všechny odbočky být připraveny do tohoto stavu přejít. Poslední odbočka generuje bezpečnostní signál, každá následující odbočka ověří, zda předchozí zařízení je v bezpečném stavu a potvrdí, že její vlastní zařízení je také v bezpečném stavu. Poté vyšle invertovaný bezpečnostní signál dalšímu zařízení. Když bezpečnostní relé přijme bezpečnostní signál, obvod GuardLink je v provozním stavu a bezpečnostní relé DG pokračuje ve vyhodnocování ostatních vstupů, monitorování výstupů a resetovacích vstupů.

### Porucha

Bezpečnostní relé a odbočky mají dva poruchové stavy: obnovitelný a neobnovitelný. Když dojde k poruše, jsou odbočky a bezpečnostní relé v bezpečném stavu.

Diagnostické informace jsou předány pomocí LED indikátoru a také pomocí rozhraní EtherNet/IP. Při použití rozhraní EtherNet/IP může řídicí systém stroje vydat reset poruchy. [11]

## 4.2 Síťové rozhraní Guardmaster EtherNet/IP

Rozhraní 440R-ENETR umožňuje připojení bezpečnostních relé Guardmaster k sítím EtherNet/IP. Rozhraní komunikuje s bezpečnostními relé prostřednictvím dvou optických sběrnic, které jsou umístěny na boční straně rozhraní. Každé rozhraní 440R-ENETR může komunikovat až se šesti relé GSR, přičemž všechna bezpečnostní relé DG musí být umístěna co nejbližší k rozhraní. Rozhraní slouží pro monitorování a řízení bezpečnostních relé z řídicího systému. [12]



Obr. 4.3: Komunikační rozhraní 440R-ENETR [13]

Stavové signály z bezpečnostního relé do řídicího systému zahrnují:

- Stav svorek bezpečnostního relé
- Stav všech odboček obvodu GuardLink
- Chybové kódy bezpečnostního relé nebo odboček

Řídicí signály z řídicího systému do bezpečnostního relé zahrnují:

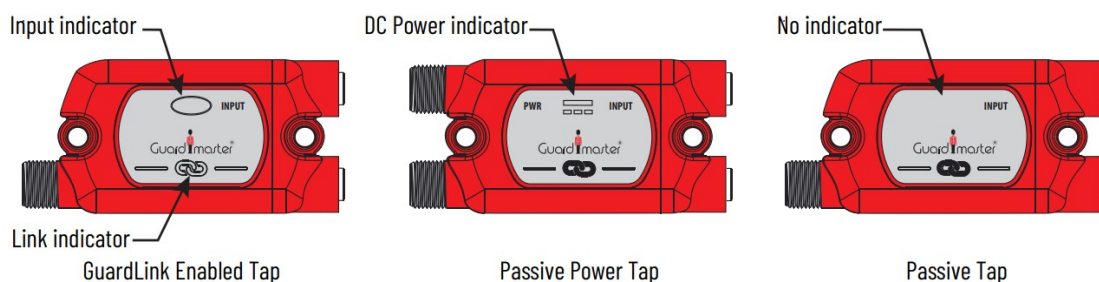
- Příkaz Reset pro uvedení bezpečnostního relé do provozního stavu
- Příkazy pro odemčení/uzamčení pro bezpečnostní zámky
- Resetování poruchy

## 4.3 Odbočky

Odbočky vytvářejí uzly v obvodu GuardLink, kde je ke každé odbočce připojeno jedno bezpečnostní zařízení. K dispozici jsou následující typy odboček:

- Aktivní odbočky s funkcí GuardLink spolupracující se zařízeními s:
  - Beznapětovými bezpečnostními výstupy (EMSS)
  - Spínanými OSSD signály
- Pasivní odbočky
- Pasivní napájecí odbočky

Odbočky jsou dostupné v 5-pin nebo 8-pin provedení. Aktivní odbočky mají indikační LED pro vstupní zařízení a síť GuardLink. Pasivní napájecí odbočky obsahují indikaci doplňkového napájení, ale stejně jako pasivní odbočky neobsahují indikaci vstupního zařízení ani indikaci stavu sítě. Na obrázku 4.4 jsou zobrazeny odbočky a jejich stavové indikace. K poslední odbočce musí být připojen terminátor, který obsahuje vnitřní elektrické komponenty speciálně pro systém GuardLink.



Obr. 4.4: Odbočky

Obvod GuardLink má rychlou dobu odezvy. Při sepnutí bezpečnostního zařízení odbočka reaguje do 5 ms, od které putuje bezpečnostní signál proti proudu k bezpečnostnímu relé. Následně každé další odbočce, která se nachází v cestě do bezpečnostního relé trvá dalších 35  $\mu$ s než signál zpracuje a vyšle dál.

### EMSS Odbočka

Odbočka EMSS je navržena pro zařízení se dvěma beznapětovými kontakty. Odbočka přivádí 24 V na jednu stranu kontaktu na obou kanálech a hledá 24 V na monitorovacím vstupu. Tyto kontakty jsou odbočkou pulzně testovány.

## **OSSD Odbočka**

Odbočka OSSD je navržena speciálně pro bezpečnostní zařízení, které generují výstupy OSSD. Odbočka OSSD neprovádí testování signálů OSSD, protože testování musí provádět vstupní zařízení.

## **Pasivní a pasivní napájecí odbočka**

Pasivní odbočky slouží k připojení bezpečnostních zařízení s vestavěnou funkcí GuardLink, do kterých přímo přenáší signály z a do sítě GuardLink. Tyto odbočky nefungují se zařízeními, které mají OSSD nebo EMSS výstupy. Pasivní napájecí odbočky umožňují přivést do obvodu GuardLink dodatečné napájení, které kompenzuje poklesy napětí. [11]

## 5 Posouzení rizik

Posouzení rizik (dle normy ČSN EN ISO 12 100) je řada po sobě jdoucích kroků, které umožňují systematicky analyzovat a zhodnotit rizika spojená se strojním zařízením. K jeho realizaci musí konstruktér brát v úvahu následující činnosti v uvedeném pořadí.

- Analýza rizika
  - určení mezních hodnot strojního zařízení (předpokládané používání i předvídatelné nesprávné použití)
  - identifikace nebezpečí a nebezpečné situace
  - odhad rizika pro každé identifikované nebezpečí a nebezpečnou situaci
- Zhodnocení rizika

Posouzení rizika je následováno, kdykoliv je to nezbytné snížením rizika. Tento proces je opakující se a někdy je nezbytné k adekvátnímu snížení rizika použít tento postup několikrát za sebou. [9]

### 5.1 Určení mezních hodnot

Model automatického barmana slouží k automatizované přípravě nápojů a je hojně využíván studenty během projektů ve výuce a v rámci diplomových a bakalářských prací. Jednotlivé části a konstrukce barmana jsou popsány v kapitole 1. Model barmana obsahuje tři provozní režimy: automatický, manuální a údržba. Mezi automatickým a manuálním režimem se přepíná pomocí klíčku, který je umístěn na desce stolu vedle tlačítek. V automatickém režimu je barman řízen pomocí programu, který vykonává jednotlivé fáze dávkového řízení. Spouštění fází je realizováno z nadřazeného systému. V manuálním režimu je barman ovládán pomocí tlačítek na desce stolu. Pomocí stisknutých tlačítek barman přesouvá vozík mezi jednotlivými pozicemi a v případě výdeje sklenic nebo čepování nápoje pohybuje pneumatickými válci. Režim údržby je stav, kdy je stroj odpojen od přívodu elektrické a pneumatické energie a jsou prováděny servisní práce na stroji. Volbou režimu nedochází ke změně bezpečnostních požadavků na zařízení. Obsluha stroje může používat stroj pouze v automatickém nebo manuálním režimu a musí být prokazatelně seznámena s BOZP a s návodem pro obsluhu barmana. Údržba je osoba, která je detailně seznámena s riziky a s činnostmi stroje.

Pracovní prostor barmana se nachází na pracovním stole, na kterém je stroj umístěn, o rozměrech 75 × 140 cm ve výšce 70 cm nad zemí. Tento prostor je přístupný pouze zepředu, kde je nutné dodržet bezpečný manipulační prostor o rozměrech

100 × 140 cm. Přívod elektrické a pneumatické energie se nachází v oploceném prostoru pod pracovní deskou stolu a je přístupný z prostoru pro obsluhu stroje. Přívod elektrické energie je pomocí napájecího kabelu FLEXO šňůra, která je přivedena na svorky hlavního vypínače. Zdrojem pneumatické energie je kompresor, který zajišťuje tlak vzduchu 3,5 bar.

Barman bude používán pouze během výuky v semestru tzn. 180 dnů v roce 1 hodinu denně. Kontrola funkčnosti tlačítka nouzového zastavení se předpokládá na začátku každé výroby, tedy jednou denně. Po dokončení každé výroby je nutné očistit dopravník od znečištění vzniklého od odkapávajících tekutin z lahví. Údržba by měla být prováděna minimálně jednou za rok, při které musí být zkontrolována funkčnost všech bezpečnostních prvků a technický stav mechanických a elektrických částí stroje. Model je určen pro používání v laboratořích, které jsou klimatizované a je zde udržována čistota.

## 5.2 Identifikace nebezpečí

Identifikace nebezpečí byla provedena pro všechny fáze životního cyklu stroje:

- doprava, montáž a instalace
- uvedení do provozu
- používání, seřizování, údržba a oprava
- vyřazení z provozu, demontáž a likvidace

Při identifikaci nebezpečí musí být identifikována všechna nebezpečí, která mohou vzniknout vzájemným působením člověka a stroje během celého životního cyklu stroje, možnými stavy stroje, které jsou normální provoz a selhání (stroj nevykonává předpokládanou funkci) a nepředpokládanému chování obsluhy nebo předvídatelného selhání stroje. Identifikace různých druhů nebezpečí a jejich možných následků jsou uvedeny dle harmonizované normy ČSN EN ISO 12 100, příloha B.

### Identifikovaná nebezpečí

1. Mechanická nebezpečí
  - (a) Stlačení
  - (b) Vtažení nebo zachycení
  - (c) Tření nebo odření
  - (d) Vystříknutí vysokotlakého média
  - (e) Pořezání nebo oddělení
  - (f) Naražení
2. Elektrická nebezpečí

- (a) Zasažení nebo smrt elektrickým proudem v prostoru obsluhy barmana
- 3. Nebezpečí hluku
  - (a) Nepohodlí způsobené vlivem provozu barmana
- 4. Ergonomická nebezpečí
  - (a) Nepohodlí způsobené polohou těla při provozu barmana
  - (b) Chybné jednání obsluhy

### **Nebezpečné situace**

- 5. Doprava:
  - (a) Zdvihání, nakládání, přeprava, vykládání
- 6. Montáž, instalace, uvedení do provozu:
  - (a) Montáž stroje, připojování k dodávce energie (elektrické, stlačený vzduch)
- 7. Seřizování, programování:
  - (a) Nastavování, seřizování stroje
  - (b) Funkční zkouška, ověřování programu, testování
- 8. Provoz:
  - (a) Doplnění zásobníku sklenic
  - (b) Odebírání hotového nápoje
- 9. Čištění, údržba, vyhledávání závady:
  - (a) Nastavování, čištění, výměna opotřebovaných částí
  - (b) Výměna opotřebovaných částí
  - (c) Ověřování částí, součástí, zařízení stroje
- 10. Demontáž:
  - (a) Odpojení energie
  - (b) Zdvihání, nakládání, přeprava

## **5.3 Odhad rizika**

Riziko spojené s každou nebezpečnou situací závisí na následujících prvcích:

- 1. Závažnost úrazu
- 2. Pravděpodobnost výskytu úrazu, který se skládá z
  - (a) Vystavení osoby nebezpečí
  - (b) Výskytu nebezpečné události
  - (c) Možnosti vyvarování se nebo omezení úrazu

Závažnost zranění budou v případě provozu a údržby barmana pouze lehká (odřekiny, škrábance, zlomenina menších kostí horních končetin), způsobená pohybujícími se částmi barmana. Dále během dopravy, montáže, uvádění do provozu a demontáže se může krajně jednat i o těžká zranění (zlomenina větších kostí). Při provozu,



údržbě a uvádění do provozu hrozí zásah nebo smrt elektrickým proudem.

Během provozu barmana bude vystavena nebezpečným událostem pouze jedna obsluhující osoba. V případě údržby, dopravy, montáže, uvádění do provozu a demontáží bude tento počet vyšší. Budeme tedy předpokládat čtyři osoby. Dále během provozu je obsluha vystavená nebezpečné události velmi často, protože je nutný přístup do nebezpečného prostoru kvůli doplňování zásobníku sklenic a odebírání sklenice s hotovým nápojem z dopravníku. Výskyt další nebezpečné události hrozí při vypínání a zapínání stroje, která je způsobena umístěním hlavního vypínače za pohyblivými se částmi stroje. Také je použit nevhodný typ hlavního vypínače, který nemá kryté přívodní svorky. Je tedy možné se dotknout živých částí stroje.

Vyvarování se nebezpečné situaci nebo omezení úrazu je možné poměrně snadno, a to například omezením přístupu ke stroji pouze kvalifikovaným osobám.

## 5.4 Zhodnocení rizika

Posledním krokem posouzení rizik je zhodnocení rizika, které určí zda je požadováno snížení rizika. Pokud ano, musí být zvolena a použita vhodná ochranná opatření. Jestliže se během snižování rizika vyskytla nová nebezpečí, musí být doplněna do seznamu identifikovaných nebezpečí a následně aplikovat vhodná ochranná opatření na jejich omezení.

Na základě analýzy rizik jsme nuceni aplikovat bezpečnostní opatření na snížení rizika. Především se jedná o aplikování ochranných opatření před úrazem elektrickým proudem a mechanickým nebezpečím vznikajícím v pracovním prostoru barmana a při manipulaci s celým strojem.

## 5.5 Snížení rizika

Cílem snížení rizika je vyloučení daného nebezpečí nebo snížením jednoho nebo obou prvků příslušného rizika:

- Závažnost úrazu
- Pravděpodobnost výskytu úrazu

Pro dosažení tohoto cíle se postupuje podle tzv. „metody tří kroků“.

- **Krok 1: Zabudovaná konstrukční opatření**

Zabudovaná konstrukční opatření jsou taková, díky kterým je dosaženo vyloučení nebezpečí nebo snížení rizik vhodnou volbou konstrukčních vlastností

stroje nebo vzájemným působením stroje s obsluhou.

Protože model barmana je již zkonstruovaný, není možné provést mnoho konstrukčních změn, které by nezměnily samotné fungování stroje. Jednou ze změn, které lze provést je umístění elektrických částí stroje mimo dosah obsluhy. Dále lze provést ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem a ochranné majetku podle normy ČSN EN 60204-1. Všechny navrhované úpravy na snížení rizika jsou popsány v kapitole 6.2

- **Krok 2: Bezpečnostní ochrana a/nebo doplňková ochranná opatření**  
Doplňková ochranná opatření a bezpečnostní ochrana zamezuje vystavení osob nebezpečí a používá se pokud není možné příslušné riziko vyloučit nebo dostatečně snížit v kroku číslo jedna.

V tomto kroku budou aplikována bezpečnostní opatření snižující riziko úrazu během provozu barmana způsobené jeho pohyblivými se částmi. Bude se jednat o aplikování bezpečnostní funkce nouzového zastavení iniciována bezpečnostními zařízeními. Určení úrovně bezpečnostní funkce nouzového zastavení (tabulka 5.1) je provedeno podle normy ČSN EN ISO 13849-1. Jednotlivé varianty této bezpečnostní funkce jsou popsány v kapitole 6.3.

#### **Funkce nouzového zastavení**

Závažnost zranění	S2
Frekvence vystavení riziku	F2
Pravděpodobnost vyloučení rizika	P1
<b>Výsledná úroveň bezpečnostní funkce</b>	<b>PLr = d</b>

Tab. 5.1: Určení úrovně bezpečnostní funkce

- **Krok 3: Informace pro používání**  
Pokud se v prvních dvou krocích nepodaří odstranit nebo snížit všechna rizika, musí být zbytková rizika identifikována v informacích pro používání.

Rizika spojená s dopravou, montáží uváděním do provozu a demontáží barmana mohou provádět pouze poučené osoby a s řádnou kvalifikací. Stejně tak rizika spojená s hlukem způsobeným provozem barmana budou snížena pomocí informování uživatelů. Dále bude použit výstražný maják pro informování obsluhy o aktuálním stavu barmana a případným upozorněním před nebezpečnou situací.

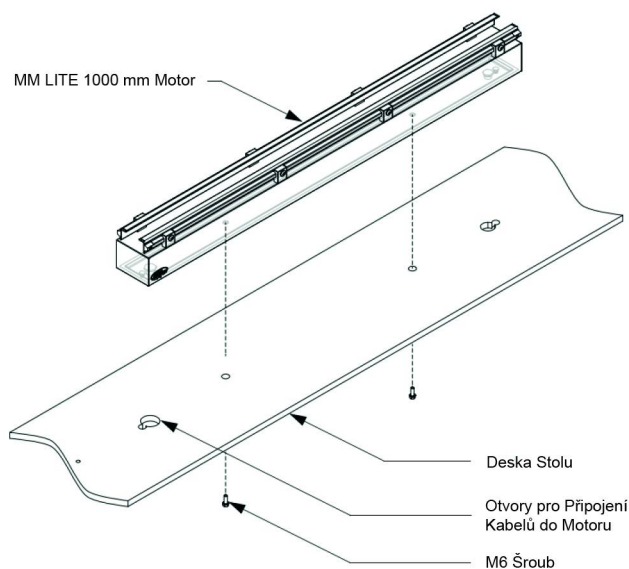
## 6 Návrh rekonstrukce barmana

V této kapitole budou popsány návrhy na rekonstrukci barmana.

### 6.1 Návrh výměny pneumatického posuvu za elektrický MagneMover LITE

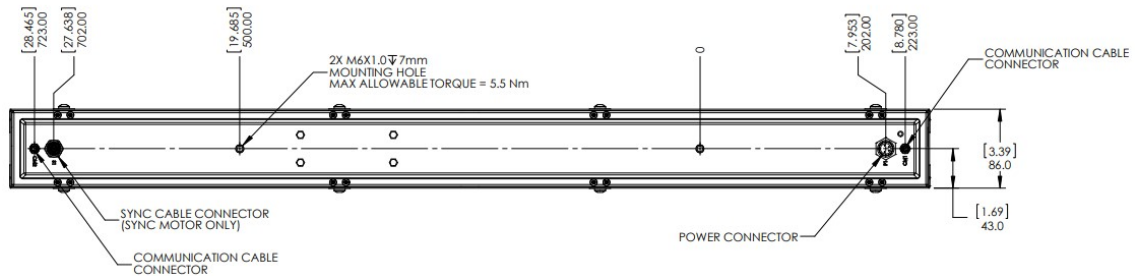
Jak už bylo řečeno dříve, aktuální dopravník je realizován pomocí pneumatického přímočarého posuvu o délce 800 mm. Na výměnu dopravníku za elektrický bude tedy použit jeden přímý motor MagneMover LITE o délce 1 000 mm s vodícími kolejkami. Na dopravu skleničky mezi jednotlivými pozicemi bude použit jeden klasický puk o nosnosti 1 kg. Dále bude použit jeden Node Controller, který bude zároveň zastávat funkci High Level Controlleru a jako Host Controller bude použito PLC.

Výrobce v dokumentaci specifikuje tři způsoby montáže motorů MagneMover LITE. První způsob je přímá montáž motoru na rovný povrch, druhá možnost montáže motorů využívá uživatelem navržené držáky a třetí způsob využívá standardní nebo nastavitelné držáky motorů, které dodává přímo výrobce. Tyto držáky motoru zároveň zajišťují dostatečný prostor pro vedení všech kabelů. Pro aplikaci motoru na barmana se využije první zmíněný způsob montáže motoru přímo na rovný povrch, kterým bude deska stolu. Na obrázku 6.1 je zobrazen způsob montáže motoru.



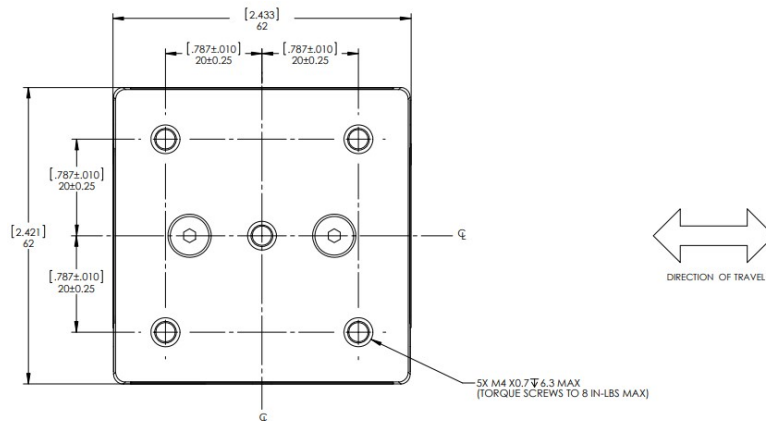
Obr. 6.1: Upevnění motoru MM LITE k desce stolu [7]

Pro správné usazení motoru bude nutné vyvrtat několik otvorů do desky stolu. Jedná se o dva montážní otvory pro šrouby o velikosti M6 pro uchycení motoru a také o dva otvory na každé straně motoru pro připojení komunikačních a napájecích kabelů. Na obrázku 6.2 je zobrazen výkres motoru s umístěním montážních otvorů a konektorů pro připojení motoru.



Obr. 6.2: Umístění konektorů a otvorů pro montáž motoru [7]

Konstrukce výtahu bude zachována a pro její připevnění k vozíčku dopravníku bude využito dvou z pěti montážních otvorů o velikosti M5, které vozíček obsahuje viz obrázek 6.3.



Obr. 6.3: Umístění montážních otvorů puku [7]

Další mechanické úpravy bude nutné provést na zásobníku skleniček a hlavní konstrukci barmana. Protože motor dopravníku MM LITE je vyšší než původní pneumatický posuv, bude tedy i nová pozice výtahu, a to o 3,5 cm výše oproti staré pozici. Aby tedy byla zajištěna správná funkce barmana, bude nutné vyrobit podložky a celou konstrukci barmana podložit o zmíněné 3,5 cm. Celkem budou potřeba čtyři podložky: jedna pod zásobník sklenic, dvě pod hlavní konstrukci barmana a jedna pod magnetický senzor v koncové poloze.

Velikosti podložek jsou (šířka x délka x výška):

- 10x30x3,5 cm - Podložka pod zásobník sklenic
- 5x10x3,5 cm - Podložka pod hlavní konstrukce barmana a magnetický senzor

Poslední mechanickou úpravou je umístění Node Controlleru, který bude připevněn v prostoru pod deskou stolu na oplocení.

Dále bude nutné provést několik změn v řídicím softwaru barmana. Změny v PLC AC1421, které obsahuje pouze operace barmana, budou pouze v zakázání výstupů pro ovládání pneumatického dopravníku, který bude odpojen. Řídicí software pro řízení dopravníku MM LITE bude umístěn do nadřazeného PLC 1769-L33ERM, ve kterém bude potřeba upravit definice fáze pro řízení dopravníku.

## 6.2 Úpravy v elektrickém zapojení barmana

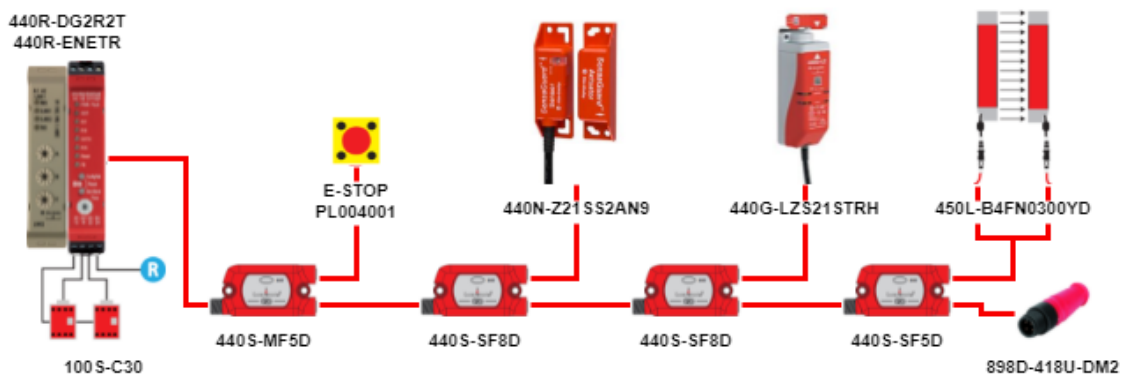
Na základě posouzení rizik budou provedeny úpravy na elektrickém zapojení barmana, aby bylo dosaženo snížení rizika úrazu elektrickým proudem. Úpravy budou prováděny dle normy EN 60204-1. Největší úpravou bude přesunutí veškeré napájecí a řídicí elektroniky do oploceného prostoru pod stolem, na kterém se nachází barman. Hlavním důvodem této změny je snadný přístup k elektronice a možnost dotyku s živými částmi barmana. Další důvod je špatné umístění elektroniky za dopravníkem barmana, kde hrozí nebezpečí úrazu při kolizi obsluhy s pohybujícím se dopravníkem barmana.

Další významnou změnou bude výměna hlavního vypínače. Aktuální hlavní vypínač má několik nedostatků. První je nevhodně zvolený typ vypínače, kdy se jedná o klasický kolébkový vypínač a nelze tedy vypínač blokovat ve vypnuté poloze. Dále je zde velké riziko zásahu elektrickým proudem, kvůli nekrytým přívodním svorkám vypínače i ve vypnuté poloze. Poslední nedostatek je špatné umístění vypínače na zadním panelu s elektronikou, který se nachází za dopravníkem a hrozí tedy nebezpečí kolize z pohybující se částí barmana.

Posledními úpravami v elektrickém zapojení barmana bude přidání ochrany před úrazem elektrickým proudem v podobě proudového chrániče a ochrana zařízení v podobě jištění. Tyto dva komponenty budou vybrány z materiálu, který je dostupný v laboratoři.

## 6.3 Návrh systému GuardLink

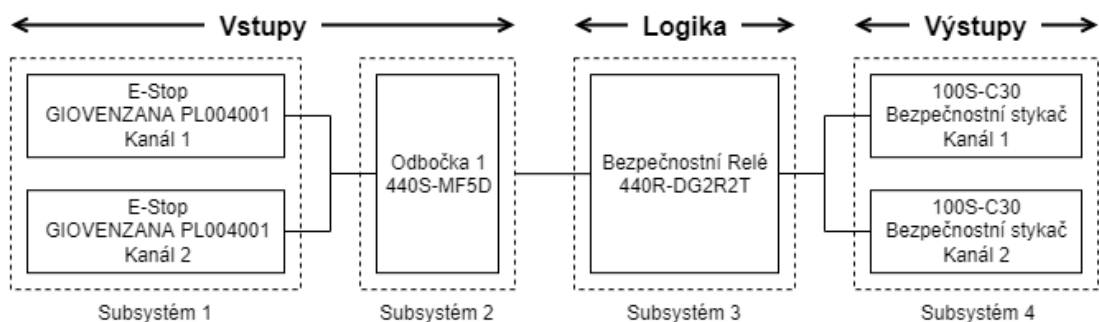
Z dostupného materiálu byl navržen systém GuardLink, jehož blokové schéma je zobrazeno na obrázku 6.4. Obvod bude obsahovat čtyři vstupní zařízení, tedy čtyři bezpečnostní funkce, které budou dále krátce popsány. Základem systému bude bezpečnostní relé podporující funkci GuardLink 440R-DG2R2T (kapitola 4.1). K bezpečnostnímu relé bude připojeno síťové komunikační rozhraní 440R-ENETR. Výstupní obvod bude obsahovat dva bezpečnostní stykače.



Obr. 6.4: Návrh zapojení obvodu GuardLink

### 6.3.1 E-Stop

Prvním vstupním zařízením bude tlačítko nouzového zastavení se dvěma rozpínacími kontakty od výrobce GIOVENZANA s označením PL004001. Pro připojení do obvodu GuardLink bude využita 5-pin EMSS odbočka. Na obrázku 6.5 je zobrazeno blokové schéma navrhované bezpečnostní funkce.



Obr. 6.5: Návrh bezpečnostní funkce 1

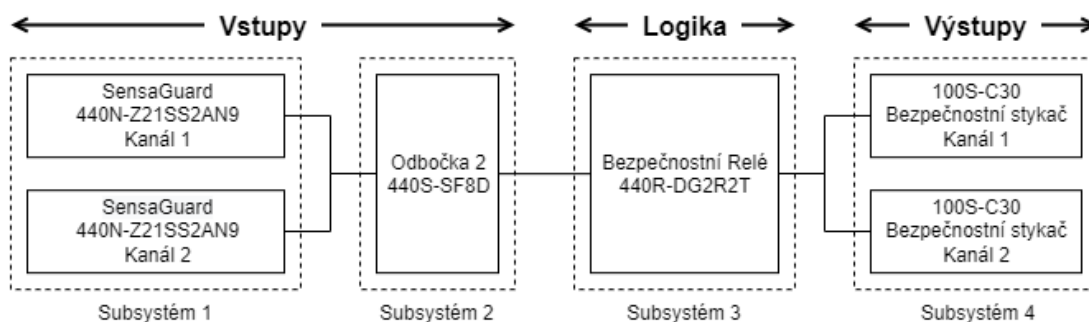
### 6.3.2 Bezkontaktní bezpečnostní senzor

Další vstupní zařízení bude bezkontaktní bezpečnostní spínač SensaGuard, který slouží k blokování přístupu do nebezpečných prostor. Spínače jsou vybaveny indukční technologií pro detekci aktuátoru a RFID technologií pro kódování. Mají velký snímací rozsah a jsou odolné vůči chybám vznikajících ze špatného vzájemného připevnění. Senzor je vybaven LED indikátorem informujícím o stavu spínače.



Obr. 6.6: Bezkontaktní bezpečnostní spínač SensaGuard [14]

Bude použit spínač s označením 440N-Z21SS2AN9, který obsahuje standardní kódování aktuátoru. Do obvodu GuardLinku bude spínač připojen pomocí 8-pin OSSD odbočky. Na obrázku 6.7 je zobrazeno blokové schéma navrhované bezpečnostní funkce.



Obr. 6.7: Návrh bezpečnostní funkce 2

### 6.3.3 Bezpečnostní zámek

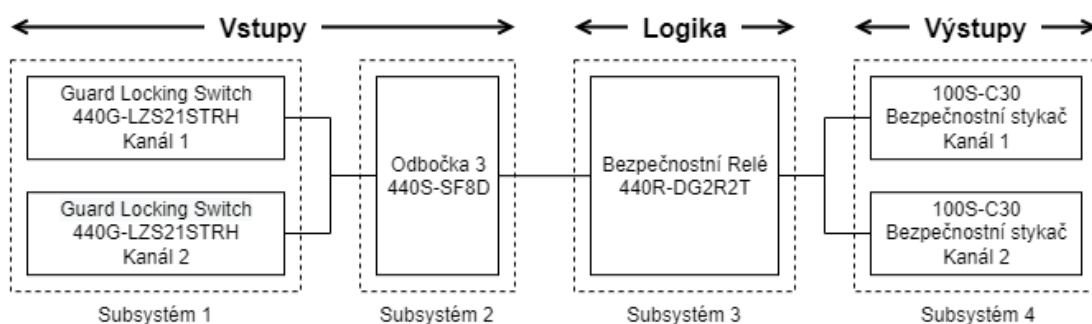
Třetí vstupní zařízení bude bezpečnostní zámek, který slouží k blokadě přístupu do nebezpečného prostoru přes pohyblivý ochranný kryt. Zámek se skládá ze dvou částí. Z aktuátoru s ocelovým očkem a hlavním tělem zámku. Zámek funguje na principu, kde z těla zámku vystupuje zajišťovací šroub, který blokuje otevření ochranného krytu. Aktuátor obsahuje kódování RFID, které zajišťuje uzamčení zámku pouze tehdy, kdy je detekován správný aktuátor. Zámek je vybaven výstupy OSSD, které

jsou aktivovány pouze v případě, kdy je detekován správný aktuátor a zajišťovací šroub je ve vysunuté poloze. Tedy pohyblivý ochranný kryt je v zavřené poloze a uzamčený.



Obr. 6.8: Bezpečnostní zámek [15]

Bude použit bezpečnostní zámek s označením 440G-LZS21STRH, který je typu „Power to Release“. To znamená, že příkaz pro odemčení je iniciován 24 V a příkaz pro uzamčení 0 V. Pro připojení bezpečnostního zámku bude využita 8-pin OSSD odbočka. Na obrázku 6.9 je zobrazeno blokové schéma navrhované bezpečnostní funkce.



Obr. 6.9: Návrh bezpečnostní funkce 3

### 6.3.4 Bezpečnostní světelná závora

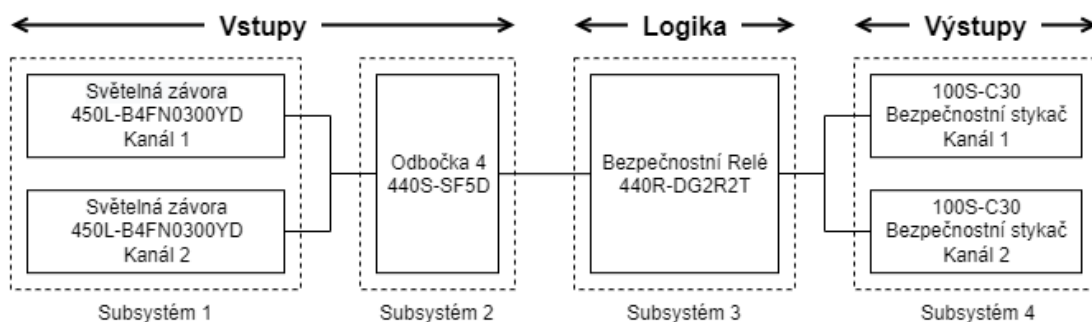
Poslední vstupní zařízení bude bezpečnostní světelná závora, která slouží k monitorování a detekci přístupu do nebezpečných prostorů. Systém světelných závor GuardShield je na rozdíl od jiných bezpečnostních světelných závor, které jsou založeny na samostatných vysílacích a přijímacích tyčích, řešen pomocí dvou identických vysílacích tyčí a zásuvných modulech, který určuje funkci dané tyče. Různé provozní režimy lze zvolit pomocí DIP přepínačů na zásuvných modulech a v případě použití univerzálních zásuvných modulů pomocí jejich způsobu zapojení. Systémy GuardShield také vyžadují minimální provozní vzdálenost, která pokud není dosažena, tak se neaktivují bezpečnostní výstupy OSSD.





Obr. 6.10: Bezpečnostní světelná závora [16]

Budou použity dvě bezpečnostní světelné závory s označením 450L-B4FN0300YD, které mají efektivní výšku snímaného prostoru 300 mm. Závory budou doplněny o univerzální zásuvné moduly s označením 450L-APU-UN-8. K systému GuardLink bude bezpečnostní světelná závora připojena pomocí 5-pin OSSD odbočky. Na obrázku 6.11 je zobrazeno blokové schéma navrhované bezpečnostní funkce.



Obr. 6.11: Návrh bezpečnostní funkce 4

### 6.3.5 Výstupní obvod

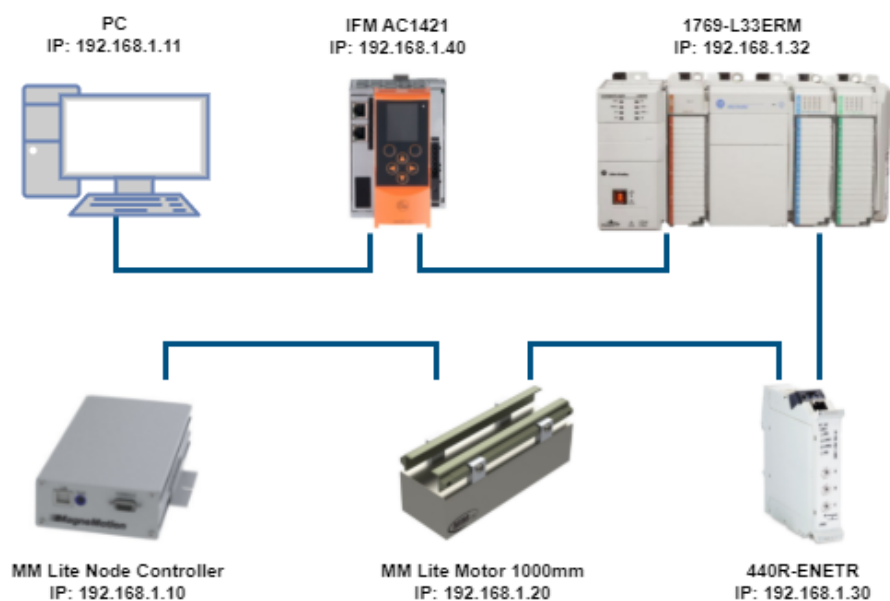
Pro všechny bezpečnostní funkce bude společný výstup, a to v podobě dvou bezpečnostních stykačů s označením 100S-C30. Každý stykač bude ovládán jedním ze dvou bezpečnostních výstupů bezpečnostního relé. Využitím pomocných kontaktů stykačů bude realizována zpětná vazba zpět do bezpečnostního relé. Stykače budou odpojovat přívod energie všem pohyblivým prvkům barmana. Jedná se tedy o odpojení přívodu elektrické energie dopravníku MagneMover LITE a pomocí pneumatického

ventilu odpojení přívodu vzduchu všem pneumatickým prvkům. Tento typ zastavení je uveden v normě ČSN EN 60204-1 jako zastavení kategorie 0, tj. neřízené zastavení okamžitým odpojením přívodu energie ovládacím prvkům stroje.

## 6.4 Návrh topologie sítě

Při návrhu topologie sítě bylo zapotřebí propojit dva stávající systémy. Systém barmana, který obsahuje dva automaty AC1421 a 1769-L33ERM a systém MagneMotion, který obsahuje komunikaci mezi Node Controllerem, motorem a automatem 1769-L33ER. Řízení systému MagneMotion je možné přenést na stávající automat, který řídí barmana. Tímto nám tedy odpadne jeden automat a je nutné propojit pouze dva automaty (AC1421 a 1769-L33ERM) s Node Controllerem a motorem. K těmto zařízením bude ještě připojeno síťové komunikační rozhraní 440R-ENETR pro monitorování a řízení bezpečnostního systému GuardLink.

Protože většina zařízení obsahuje dva ethernetové porty byla zvolena lineární topologie sítě. Díky této topologii není nutné použití ethernetového switche. Node Controller je zvolen jako koncový prvek sítě, protože obsahuje pouze jeden ethernetový port. Na druhý konec sítě je připojeno PC, na kterém může běžet vizualizace barmana nebo případně software pro dávkové řízení barmana. Na obázku 6.12 je zobrazen blokový návrh topologie sítě společně s IP adresami jednotlivých zařízení.



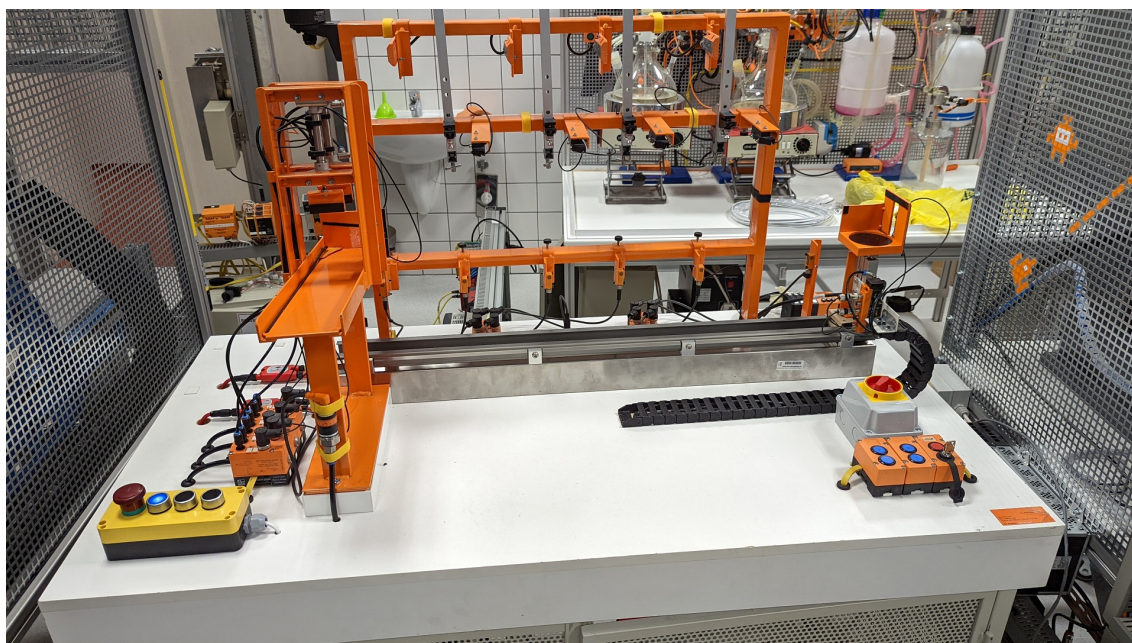
Obr. 6.12: Návrh topologie sítě

## 7 Realizace

V této kapitole budou popsány všechny realizované úpravy, které byly provedeny na modelu barmana.

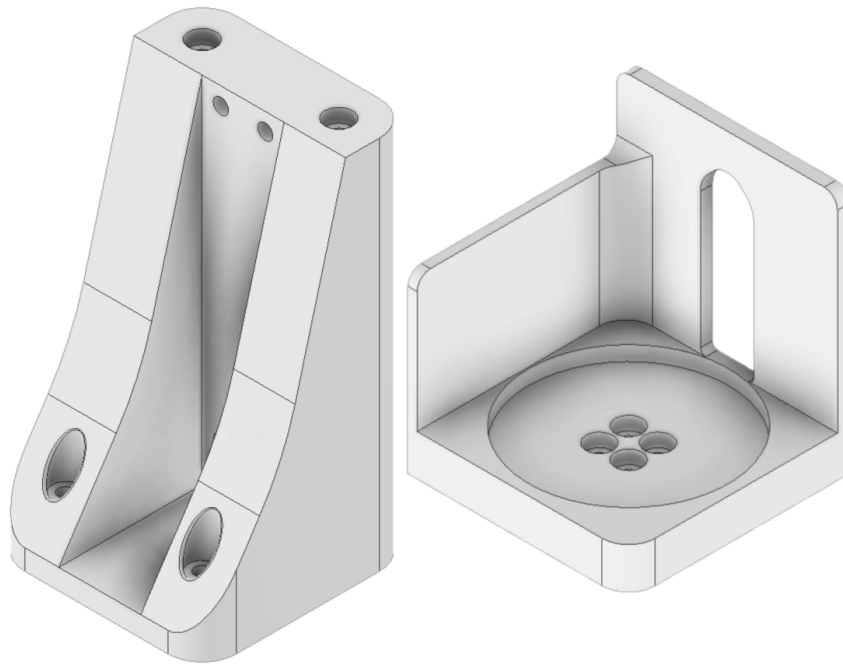
### 7.1 Výměna dopravníku

Při výměně dopravníku bylo potřeba nejdříve odpojit přívod stlačeného vzduchu od stávajícího dopravníku a následně pneumatický posuv demontovat. Poté bylo možné přejít k samotné montáži elektrického dopravníku. Jak bylo řečeno při návrhu výměny dopravníku, bude využit způsob uchycení motoru přímo na desku stolu. Před samotnou montáží bylo potřeba rozměřit a nachystat všechny otvory pro napájecí a komunikační kabely a otvory pro uchycení motoru k desce stolu. Následně mohl být motor uchycen a zapojen na desce stolu. Dále bylo nutné podložit celou konstrukci barmana, aby byla zajištěna stávající funkčnost modelu. Podložky jsou vyrobeny z dřevotřísky a jejich rozměry byly uvedeny při návrhu výměny dopravníku (kapitola 6.1). K napájení motoru byly využity dodané napájecí kabely a napájecí zdroj na 36 V. Schéma elektrického zapojení motoru je přiloženo v příloze B. Node Controller byl umístěn podle návrhu pod stolem na ochranném pletivu. Node Controller i motor MagneMover LITE byly zapojeny do komunikační sítě a nastaveny podle návrhu.



Obr. 7.1: Finální uchycení motoru k desce stolu

Nejdříve byl výtah uchycen k puku pomocí dřívější ocelové konstrukce, ale následně se při oživování dopravníku ukázalo, že tato konstrukce je příliš těžká a puk se nepohybuje plynule po kolejnicích, ale zadržává se. Z toho důvodu byla navržena nová konstrukce výtahu, která byla vytvořena pomocí 3D tisku. Byl vytvořen nový držák pneumatického pístu, který zvedá sklenici a také byl nahrazen starý držák sklenice. Modely navržených součástí jsou zobrazeny na obrázku 7.2 a soubory pro otevření v programu CAD jsou přiloženy k této práci jako příloha.



Obr. 7.2: Nový držák výtahu a podtácek pro sklenici

Kvůli větším rozměrům dopravníku MagneMover LITE bylo nutné přesunout magnetický senzor v koncové pozici pro výdej hotového nápoje i s jeho držákem, čímž senzor přestal snímat magnet na zadní straně výtahu. Byl tedy pomocí 3D tisku vytvořen malý nástavec, který umístil senzor blíže k dopravníku, aby byla zajištěna jeho správná funkce.

### 7.1.1 Konfigurační soubory

Prvním krokem při oživování dopravníku MagneMotion je vytvoření a nahrání konfiguračních souborů dopravníku do Node Controlleru. Tyto soubory byly převzaty z dřívější bakalářské práce, která se zabývala zprovozněním dopravního systému MagneMotion [2].

## **MagneMotion ML Configuration Tool**

Tento nástroj slouží k vytvoření konfiguračních souborů dopravníkového systému. Prostředí se dělí na grafickou a konfigurační část. Grafická část slouží ke složení systému po vizuální stránce, kde některé prvky mají pouze vizuální využití pro lepší představu uživatele o systému a některé prvky mají následné využití při exportu dat do konfigurační části. Konfigurační část vzniká exportem z grafické části programu. V konfigurační části se nastavují parametry systému, jako například komunikace s nadřazeným systémem, maximální zrychlení a rychlost puků, nastavení tras, nastavení Node Controllerů atd.

Převzaté konfigurační soubory byly otevřeny v tomto prostředí. Většina nastavení byla pouze zkontrolována, jestli odpovídá sestavenému systému, ale byly zde provedeny i úpravy jako například změna IP adresy nadřazeného PLC a úprava parametrů maximální rychlosti a zrychlení.

## **MICSCreator**

Nástroj MICSCreator slouží k vytváření konfiguračních souborů, které slouží pro správné přiřazení MAC adres motorů k IP adresám a jejich umístění na správné trasy. Tento soubor byl pouze zkontrolován zda odpovídá skutečnosti.

## **Webové rozhraní Node Controlleru**

Dalším krokem bylo připojení se k webovému rozhraní Node Controlleru přes webový prohlížeč počítače, který se nachází ve stejné síti jako Node Controller. Webové rozhraní slouží pro konfiguraci a monitorování Node Controlleru. V záložce *NC Settings* bylo zkontrolováno síťové nastavení a jelikož byl použit jenom jeden Node Controller bylo zkontrolováno zapnutí funkce controlleru jako High Level Controller. Dále v záložce *Configuration Files* byly smazány všechny uložené konfigurační soubory a znovu nahrány soubory mnou zkontrolované. Poté byl proveden reboot controlleru, po kterém bylo vidět, že vše běží a konfigurace jsou validní.

## **MagneMotion ML NCHost TCP Interface Utility**

Tento nástroj slouží pro přímou komunikaci s dopravním systémem. Nástroj se přímo připojí na High Level Controller, který lze přímo monitorovat nebo ovládat. Prvním krokem po konfiguraci Node Controlleru bylo připojení se ke controlleru pomocí tohoto nástroje a otestování manuálního ovládání systému. Byla vyzkoušena funkčnost ovládání trasy jako zapnutí, vypnutí a restart a následně funkčnost ovládání puku. Po úspěšném vyzkoušení funkčnosti konfigurace jsem přešel k úpravě řídicího programu PLC.

**MagneMotion**  
A Rockwell Automation Company

**Status**

Node Controller Status	Running
High Level Controller Status	Running
Node Controller Configuration	Valid
High Level Controller Configuration	Valid
Host TCP Interface Control Port	Enabled
System Uptime	up 0 min
Load Average	0.16, 0.05, 0.01

**Resource Usage**

Memory (RAM) Total	256884 Kbytes
Memory (RAM) Used	120008 Kbytes
Memory (RAM) Free	136876 Kbytes
Flash Memory Total	16.0 Gigs
Flash Software Partition Used	9.8 Megs
Flash Software Partition Free	233.3 Megs
Flash Config Partition Used	1.8 Megs
Flash Config Partition Free	241.3 Megs

**System Information**

Node Controller Software Version	15.10.30
Build Date/Time	15-Feb-2021 15:15
Built By	buildbot
Built on Host	nc-buildbot-vm
Kernel	2.4.29-ampro-550-700 32bit
Boot Mode	Legacy-PC
Model	NC-Lite
Hardware Version	01
Eth0 MAC Address	00:0D:B9:54:3F:0C

Refresh

Obr. 7.3: Webové rozhraní Node Controlleru

## 7.1.2 Řídicí software PLC

Pro tvorbu programu pro PLC řady CompactLogix od firmy Allen Bradley se využívá vývojové prostředí Studio 5000. Základní kostra programu pro ovládání dopravního systému MagneMotion byla převzata z dřívější bakalářské práce [2]. Jedná se o vytvořené vlastní datové typy a jejich proměnné pro dopravní systém, definované Add-On instrukce, které slouží pro jednodušší zápis parametrů do proměnné pro odesílání zpráv, subroutine pro inicializaci a spuštění motoru a subroutine pro odesílání zpráv do Node Controlleru.

Program pro ovládání dopravníku MagneMotion obsahuje tři základní části:

- MainRoutine
- Subroutine MessageRoutine
- Subroutine MMStartupRoutine

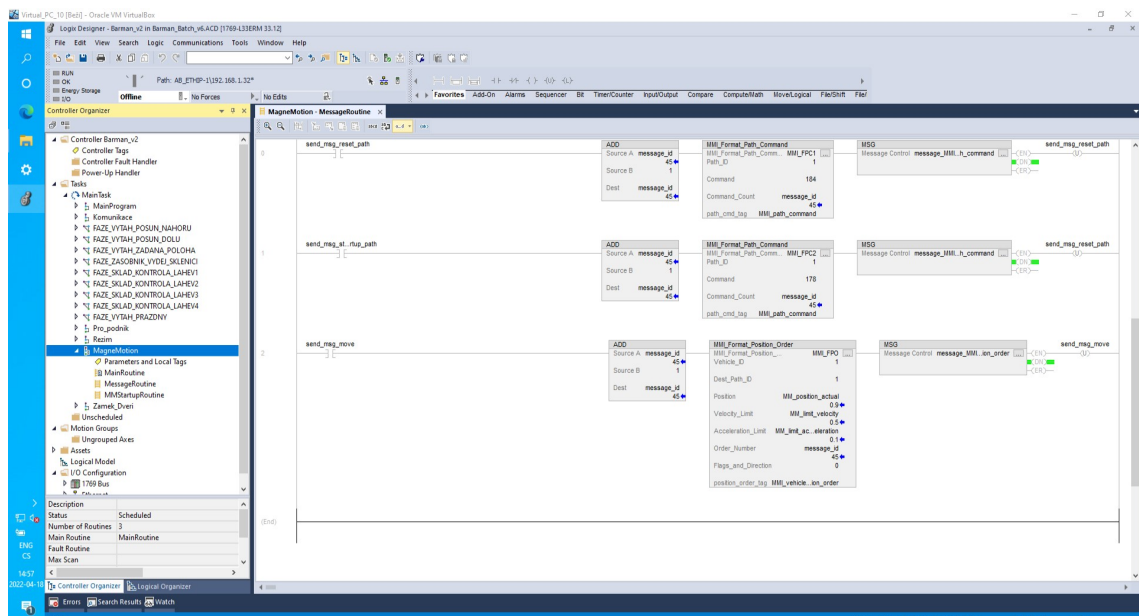
## Hlavní routine

Program v hlavní routine byl upraven tak, aby dopravník fungoval společně s dávkovým řízením barmana. Pro spuštění pohybu dopravníku je v programu využíváno globálních proměnných: start dopravníku a žádaná pozice, kam se má puk přesunout. Hlavní program obsahuje následující části:

- Vyhodnocení pro spuštění a inicializaci dopravníku - Pokud je barman v bezpečném stavu a nebyla provedena subroutine MMStartupRoutine, spustí tuto subroutine
- Stavový automat pro přesun puku na požadovanou pozici
- Vyhodnocení, zda byl pohyb puku úspěšně dokončen
- Volání subroutine MMStartupRoutine a MessageRoutine

## Subroutine MessageRoutine

Subroutine, která zajišťuje posílání zpráv do Node Controlleru. Tato subroutine je volána cyklicky v hlavním programu a obsahuje tři proměnné, pomocí kterých se odesílají příslušné zprávy. Jsou tedy k dispozici tři typy zpráv a to: restart trasy, start trasy a pohyb. Před odesláním zprávy se nejdříve inkrementuje počítadlo zpráv, následně jsou využity Add-On instrukce pro přehledný zápis parametrů do proměnných a nakonec je zpráva odeslána. Odesílání zpráv funguje pomocí funkce MSG a proměnných typu message, které kromě odesílaných dat obsahují také informace o IP adrese a cestě k cílovému zařízení.



Obr. 7.4: Ukázka programu subroutine MessageRoutine

## Subroutine MMStartupRoutine

Subroutine v jednotlivých krocích provede restartování trasy, její inicializaci, následně spustí motor a přesune puk na výchozí pozici, která je definována v koncové pozici pro výdej nápoje. Tato subroutine se zavolá vždy pouze jednou po obnovení bezpečnosti stroje.

## 7.2 Úpravy v elektrickém zapojení barmana

Úpravy v elektrickém zapojení barmana byly provedeny podle návrhu. Na přívod elektrické energie byl přidán proudový chránič s označením 1492-RCD2C40 a jistič s označením 1489-A1C100. Dále byl vyměněn hlavní vypínač za vypínač s označením LK16R/2.8211 OB2 ZC. Jedná se o vypínač v krabici s červenožlutou uzamykatelnou páčkou. Vypínač je umístěn na desce stolu u ovládacích tlačítek barmana, kde je vypínač snadno přístupný pro obsluhu (obrázek 7.5).



Obr. 7.5: Hlavní vypínač

Kompletní schéma elektrického zapojení je přiloženo v příloze B. Další navrhovanou úpravou, která byla provedena, bylo přemístění veškeré napájecí a řídicí elektroniky do oploceného prostoru pod deskou stolu, kde je zároveň omezený přístup.



## 7.3 Systém GuardLink

Navrhovaný systém GuardLink zajišťuje bezpečnostní funkci nouzového zastavení iniciovanou čtyřmi různými zařízeními. Systém byl realizovaný podle návrhu v kapitole 6.3. V následující části této práce budou popsány jednotlivé kroky realizace systému GuardLink.








Na první vstup (S12/S22) bezpečnostního relé je připojen obvod GuardLink se čtyřmi odbočkami (E-Stop, bezkontaktní bezpečnostní snímač, bezpečnostní zámek, světelná závora). Na bezpečnostní výstupy 13/14 a 23/24 jsou připojeny dva stykače, které odpojují přívod elektrické energie dopravníku MagneMotion a přívod stlačeného vzduchu pomocí pneumatického ventilu. Do bezpečnostního relé je vedena zpětná vazba (vstup X3) z pomocných rozpínacích kontaktů stykačů pro monitorování stavu výstupů. Na vstup X4 je přivedeno tlačítko sloužící pro manuální restart bezpečnostního relé. Schéma zapojení je přiloženo v příloze B.

### 7.3.1 Konfigurace bezpečnostního relé DG

Po zapojení systému následuje konfigurace bezpečnostního relé DG. Konfigurace relé probíhá pomocí dvou tlačítek *Config/Set* a *Sel./Save*. Do konfiguračního režimu relé se přejde dlouhým stisknutím tlačítka *Config/Set*. Následně se pomocí stavových indikátoru a tlačítek provádí konfigurace. Tlačítko *Config/Set* slouží pro vybrání nastavení dané funkce a tlačítko *Sel./Save* slouží pro přejítí k další funkci a konečnému uložení konfigurace.

Bezpečnostní relé je nastaveno na jednu bezpečnostní funkci na vstupu IN 1 typu GuardLink. Je aktivován SWS výstup na X2 a je zakázán SWS vstup na svorce X1. Dále je nastaven manuální restart, který obnoví výstupní svorky. Dále je možné pomocí 16-ti polohového přepínače nastavit časové zpoždění spínání bezpečnostních výstupů, které mohou být zpožděny až o 30 sekund. Tato funkce není využita, proto bezpečnostní výstupy spínají okamžitě. Celá konfigurace je zobrazena v tabulce 7.1, kde je zobrazen daný indikátor, jeho funkce během konfigurace, barva indikátoru a jeho nastavení.

Každé konfiguraci je přiřazena jedinečná identifikace ID. Tato hodnota je k nalezení ve Studiu 5000 v Controller Tags. ID nastavené konfigurace je 0x6A Hex nebo 106 Dec.

Indikátor	Funkce	Barva indikátoru a nastavení
OUT	Bezpečnostní funkce	 Aktivace jedné bezpečnostní funkce IN 1
IN 1	Typ vstupu	 Aktivace funkce GuardLink na vstupu IN 1
IN 2	Typ vstupu	 Vstup IN 2 je vypnutý
OUT X	Typ výstupu	 Aktivace výstupu SWS na X2
IN X	Režim vstupu	 Zakázat vstup na X1
Reset	Typ resetování	 Ruční monitorované resetování
FB	Úloha resetování	 Obnovení funkce výstupu

Tab. 7.1: Konfigurace bezpečnostního relé DG

### 7.3.2 Síťové rozhraní pro EtherNet/IP

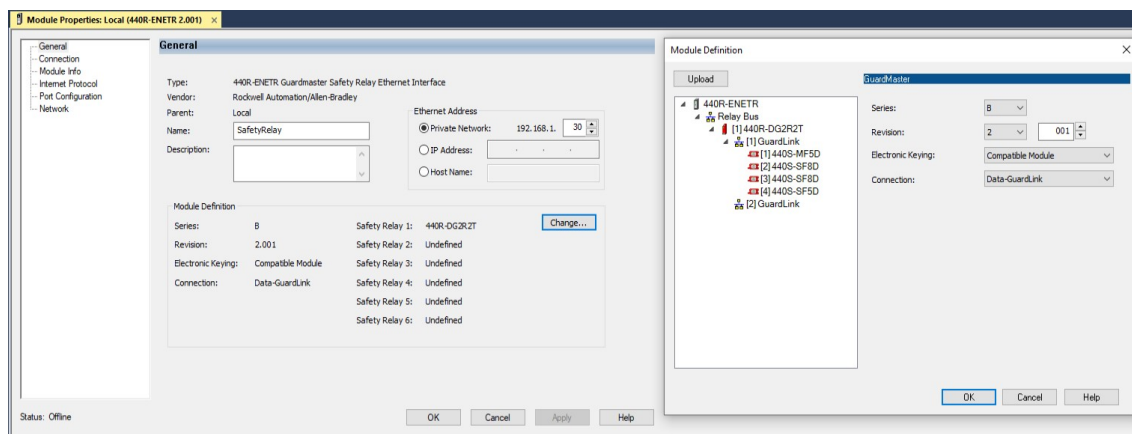
Pro monitorování a řízení bezpečnostního relé je využito síťové komunikační rozhraní 440R-ENETR. Rozhraní je zapojeno k síti podle návrhu 6.4 a schéma reálného zapojení je přiloženo v příloze B.

V tabulce 7.2 je zobrazeno síťové nastavení komunikačního rozhraní. IP adresu lze nastavit několika způsoby. Buď pomocí tří přepínačů, pomocí kterých se nastaví soukromá IP adresa 192.168.1.ABC (A,B,C - rotační přepínače) nebo pomocí softwarových nástrojů, kdy je IP adresa přidělena pomocí DHCP serveru. V mém případě bylo využito nastavení IP adresy pomocí rotačních přepínačů.

IP Adresa	192.168.1.30
Maska sítě	255.255.255.0
Výchozí brána	192.168.1.1

Tab. 7.2: Síťové nastavení komunikačního rozhraní 440R-ENETR

Dále bylo nutné provést update EDS file a také stáhnout a nainstalovat Add-on Profile (AOP), aby bylo možné rozhraní přidat do hardwarové konfigurace (obrázek 7.6) a zobrazit příslušné proměnné v *Controller tags*. AOP obsahuje informace o stavu komunikace mezi rozhraním a připojenými relé, konfigurace a stavu všech svorek připojených relé, stavu systému GuardLink a všech jeho odboček a chybové kódy. Také je možnost řídit relé pomocí následujících příkazů: restart relé pro obnovení výstupů, restart pro obnovení z poruchového stavu a příkazů pro uzamknutí a odemknutí bezpečnostních zámků připojených k systému GuardLink.



Obr. 7.6: Přidání komunikačního rozhraní do hardwarové konfigurace

### 7.3.3 Výpočet poklesu napětí systému GuardLink

S možností použití až 32 odboček a dlouhých propojovacích kabelů je nutné při realizaci každého obvodu GuardLink provést výpočet napětí dostupného pro každé bezpečnostní zařízení na jeho odbočce. Provozní napětí odbočky by nemělo klesnout pod 20,4 V. Pokud tento případ nastane, je nutné návrh obvodu opravit, například přidáním pasivní napájecí odbočky. K tomuto výpočtu slouží interaktivní tabulka dostupná ke stažení ze stránek výrobce. Na obrázku 7.7 je zobrazen výpočet pro realizovaný obvod GuardLink.



Supply Voltage (20.4 to 26.4)	24 V
Link Cable Wire Gauge	18 (0.823) AWG (mm <sup>2</sup> )
Link Wire Resistance	0,02095 ohms/m

Tap	Node	Link Cable Length (m)		Power Tap Supply Voltage	User Defined Device Current (mA)	Tap	Tap + Device Current (mA)	Total Current (mA)	Voltage level @ Tap
1	1	2	800F E-stop, no indicator			440S-MF5D	40	432	23,94
2	2	0,6	SensaGuard Series A			440S-SF8D	85	392	23,91
3	3	0,6	440G-LZ Power-To-Release			440S-SF8D	123	307	23,88
4	4	0,6	450L-B 0300mm			440S-SF5D	184	184	23,87

Obr. 7.7: Nástroj pro výpočet poklesu napětí v systému GuardLink

### 7.3.4 Výpočet doběhu stroje

Při použití ochranných zařízení, která nevytvářejí pevnou ochrannou překážku mezi nebezpečným prostorem a obsluhou, je nutný výpočet minimální vzdálenosti pro umístění ochranného zařízení od nebezpečného prostoru. Mezi tato zařízení patří i aktivní optoelektronická ochranná zařízení (AOPD). Způsob výpočtu je definován v normě ČSN EN ISO 13855. Základní rovnice pro výpočet minimální vzdálenosti je:

$$S = (K \times T) + C \quad (7.1)$$

Kde, S je minimální vzdálenost (mm), K je parametr (mm/s) odvozený z údajů rychlostí přiblížení těla, T je celková doba zastavení stroje (s) a C je vzdálenost vniknutí (mm).

Dle normy se parametr K rovná 1600 mm/s a parametr C se spočítá jako:

$$C = 8 \times (d - 14mm) \quad (7.2)$$

Kde d je detekční schopnost senzoru zařízení (mm), v našem případě 14mm. Parametr C se tedy rovná 0. Celková doba doběhu stroje T byla spočítána na 305,105 ms, která je složená z následujících částí:

Reakční doba senzoru	15	ms
Reakční doba logické jednotky	40,105	ms
Reakční doba aktuátoru	50	ms
Doba doběhu stroje	200	ms
<b>Výsledný čas</b>	<b>305,105</b>	<b>ms</b>

Tab. 7.3: Tabulka s časy doběhu jednotlivých zařízení

Po následném dosazení do rovnice 7.1:

$$S = (1600 \times 305,105 \times 10^{-3}) + 0 = 488mm \quad (7.3)$$

Z výpočtu jsme dostali minimální vzdálenost pro umístění světelných závor od nebezpečného prostoru, která je 488 mm. [10]

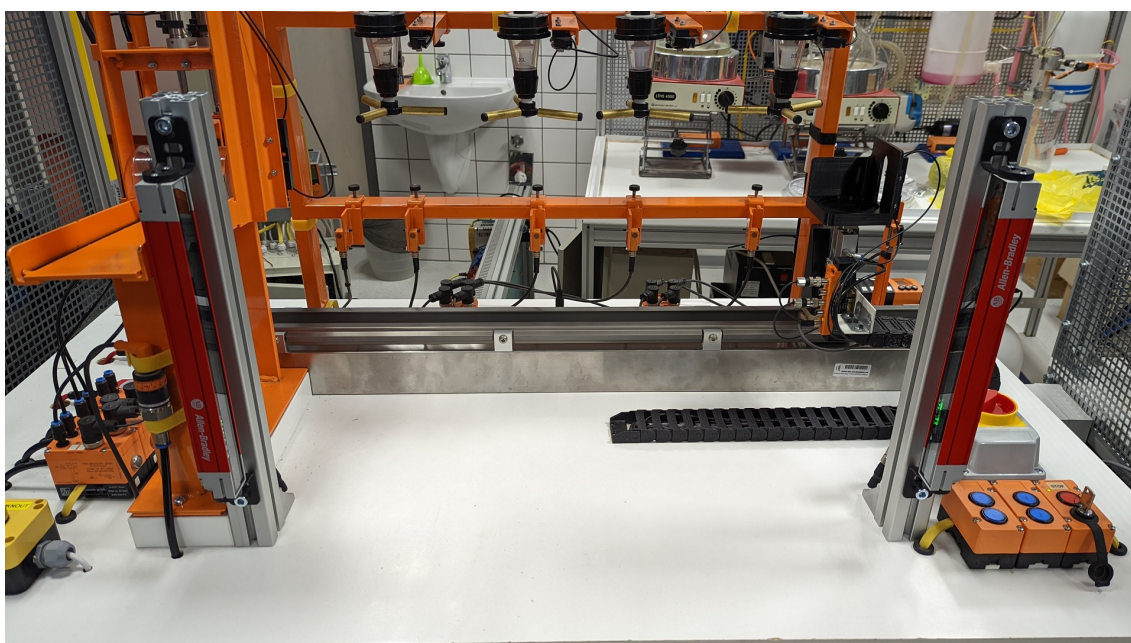
Před finálním umístěním světelných závor bylo provedeno měření času doběhu barmana pomocí specializovaného zařízení. Toto zařízení pomocí dvou modulů, umístěných na světelné závoře a vozíku barmana, měří čas mezi protnutím paprsku světelné závoře a úplného zastavení pohybující se části stroje. Bylo provedeno 10 měření z nichž byla určena minimální vzdálenost umístění světelných závor od nebezpečného prostoru na 500 mm. Protokol z měření doběhu je přiložen v příloze C.

### 7.3.5 Umístění bezpečnostních zařízení

V následující části bude popsáno finální umístění jednotlivých bezpečnostních zařízení.

#### Optická závora

Jak bylo vypočítáno a změřeno podle normy ČSN EN ISO 13855, optická závora by měla být umístěna 500 mm od nebezpečného prostoru. Tato vzdálenost vychází mimo pracovní stůl, na kterém je umístěn barman. Proto by bylo nutné vytvořit konstrukci, která by byla uchycena k pracovnímu stolu barmana a umístila závory do správné vzdálenosti. Tato úprava, ale nemohla být realizována. Optické závory byly tedy umístěny na pracovní stůl barmana ve vzdálenosti 35 cm od dopravníku (obrázek 7.8).



Obr. 7.8: Umístění optické závory

#### Bezkontaktní bezpečnostní snímač a bezpečnostní zámek

Bezkontaktní bezpečnostní snímač a bezpečnostní zámek jsou umístěny na dveřích do oploceného prostoru pod deskou stolu. Dveře stolu se skládají ze dvou křídel, přičemž na jednom křídle je umístěn bezkontaktní snímač a na druhém je umístěn bezpečnostní zámek. Umístění bezpečnostních prvků je zobrazeno na obrázku 7.9.



Obr. 7.9: Umístění bezpečnostního zámku a bezkontaktního snímače

## E-Stop

Tlačítko nouzového zastavení je umístěno v levé části stolu snadno přístupné z pozice obsluhy. Tlačítko je umístěno v ovládací stanici PQ04K pro čtyři tlačítka od výrobce GIOVENZANA. Tlačítko nouzového zastavení je typu 2xNC (Normally closed) a zbylá tři tlačítka jsou typu 1xNO (Normally open). Druhé tlačítko „Safety Reset“ je zapojeno do bezpečnostního relé DG a jak název napovídá tlačítko slouží pro obnovení bezpečnostních výstupů relé. Tlačítko také obsahuje LED podsvícení, které indikuje stav, kdy je nutné obnovit bezpečnostní obvody. Zbylá dvě tlačítka jsou zapojeny do karty digitálních vstupů 1769-IQ32T připojené k PLC CompactLogix. Pomocí těchto dvou tlačítek je iniciováno odemknutí, či zamknutí bezpečnostního zámku.



Obr. 7.10: Ovládací stanice

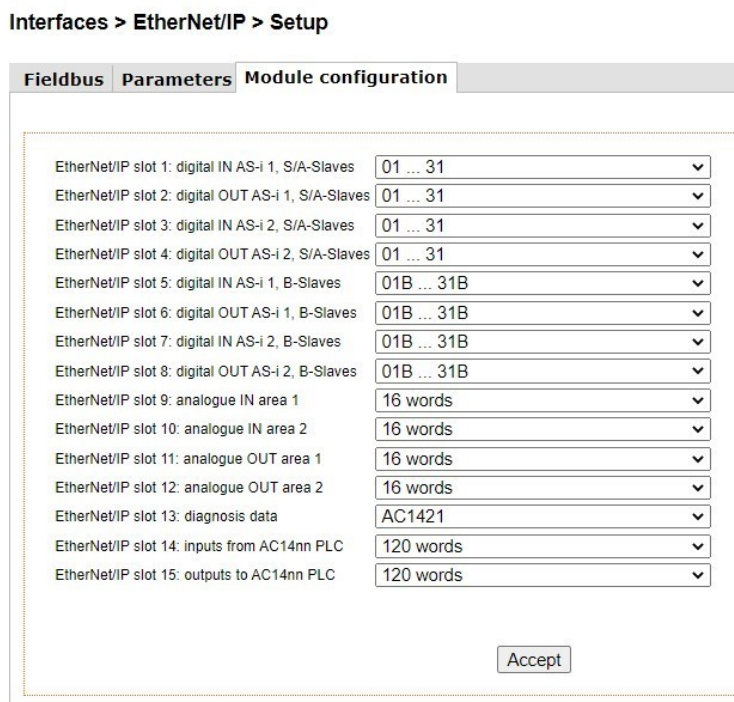
## 7.4 Úpravy řídicího softwaru

Posledním krokem při realizaci úprav bylo upravit řídicí program v automatech ifm electronic AC1421 a CompactLogix 1769-L33ERM. Jak bylo řečeno dříve, pro programování PLC řady CompactLogix se používá vývojové prostředí Studio 5000 a pro programování PLC AC1421 bylo použito vývojové prostředí CODESYS V3.5 SP4.

Nejdříve bylo potřeba stáhnout a seznámit se s původními řídicími programy a následně je upravit pro zprovoznění barmana.

### 7.4.1 Komunikace mezi automaty

Veškeré nastavení nezbytné pro komunikaci mezi automaty bylo ponecháno. Digitální vstupy a výstupy jsou k automatu AC1421 připojeny pomocí AS-interface. Automat cyklicky vystavuje data ze sítě AS-interface na síť EtherNet/IP, ke kterým je možné přidat vlastní data. Takto lze přenášet až 248 *wordu* dat. Na následujícím obrázku jsou zobrazena data, která jsou při aktuálním nastavení přenášena.



Obr. 7.11: Přehled nastavené komunikace automatu AC1421

Vybrané hodnoty 01...31 a 01B...31B znamenají aktivní modul, který přenáší data o velikosti 16 *byte*, tedy 8 *wordu*. Diagnostická data automatu AC1421 jsou o velikosti 25 *wordu*. Uživatelem zvolená data mají velikost 120 *wordu*.

Pro následující využití a přehlednost jsou v tabulkách 7.4 a 7.5 sepsány všechny fyzické vstupy a výstupy barmana s příslušným označením, popisem a adresami v automatech 1769-L33ERM a AC1421.

Tag IFM	AS-i Slave	Adresa IFM	Adresa CompactLogix	Popis
DOPR_1	1	%IX1.0	AC1421:I.Data[0].8	Magnetický senzor 1
DOPR_2	1	%IX1.1	AC1421:I.Data[0].9	Magnetický senzor 2
DOPR_3	1	%IX1.2	AC1421:I.Data[0].10	Magnetický senzor 3
DOPR_4	1	%IX1.3	AC1421:I.Data[0].11	Magnetický senzor 4
POD_1_DOWN_OK	2	%IX2.0	AC1421:I.Data[0].4	Podavač 1 dole
POD_1_UP_OK	2	%IX2.1	AC1421:I.Data[0].5	Podavač 1 nahoře
POD_1_DOWN_MOVE	2	%IX2.2	AC1421:I.Data[0].6	Podavač 1 pohyb dolů
POD_1_UP_MOVE	2	%IX2.3	AC1421:I.Data[0].7	Podavač 1 pohyb nahoru
TLAK_OK	3	%IX3.0	AC1421:I.Data[0].0	Tlakový senzor
POD_2_DOWN_OK	4	%IX4.0	AC1421:I.Data[1].12	Podavač 2 dole
POD_2_UP_OK	4	%IX4.1	AC1421:I.Data[1].13	Podavač 2 nahoře
POD_2_DOWN_MOVE	4	%IX4.2	AC1421:I.Data[1].14	Podavač 2 pohyb dolů
POD_2_UP_MOVE	4	%IX4.3	AC1421:I.Data[1].15	Podavač 2 pohyb nahoru
DOPR_START	5	%IX5.0	AC1421:I.Data[1].8	Magnetický senzor START
DOPR_END	5	%IX5.1	AC1421:I.Data[1].9	Magnetický senzor END
VYTAH_DOWN_MOVE	5	%IX5.2	AC1421:I.Data[1].10	Výtah pohyb nahoru
VYTAH_UP_MOVE	5	%IX5.3	AC1421:I.Data[1].11	Výtah pohyb dolů
VYTAH_UP_OK	6	%IX6.1	AC1421:I.Data[1].5	Výtah nahoře
VYTAH_DOWN_OK	6	%IX6.3	AC1421:I.Data[1].7	Výtah dole
RED_OK	7	%IX7.0	AC1421:I.Data[1].0	Maják červená OK
GREEN_OK	7	%IX7.1	AC1421:I.Data[1].1	Maják zelená OK
ORANGE_OK	7	%IX7.2	AC1421:I.Data[1].2	Maják oranžová OK
BOTTLE_1	8	%IX8.0	AC1421:I.Data[2].12	Kapalina Láhev 1
BOTTLE_2	8	%IX8.1	AC1421:I.Data[2].13	Kapalina Láhev 2
BOTTLE_3	8	%IX8.2	AC1421:I.Data[2].14	Kapalina Láhev 3
BOTTLE_4	8	%IX8.3	AC1421:I.Data[2].15	Kapalina Láhev 4
TLAC_3	9	%IX9.0	AC1421:I.Data[2].8	Tlačítko 3
TLAC_4	9	%IX9.1	AC1421:I.Data[2].9	Tlačítko 4
TLAC_3_LIGHT_OK	9	%IX9.2	AC1421:I.Data[2].10	Tlačítko 3 světlo OK
TLAC_4_LIGHT_OK	9	%IX9.3	AC1421:I.Data[2].11	Tlačítko 4 světlo OK
TLAC_1	10	%IX10.0	AC1421:I.Data[2].4	Tlačítko 1
TLAC_2	10	%IX10.1	AC1421:I.Data[2].5	Tlačítko 2
TLAC_1_LIGHT_OK	10	%IX10.2	AC1421:I.Data[2].6	Tlačítko 1 světlo OK
TLAC_2_LIGHT_OK	10	%IX10.3	AC1421:I.Data[2].7	Tlačítko 2 světlo OK
OPT_VYTAH	11	%IX11.0	AC1421:I.Data[2].0	OPT Senzor ve výtahu
OPT_PODAVAC	11	%IX11.1	AC1421:I.Data[2].1	OPT Senzor mezi podavači
OPT_1	11	%IX11.3	AC1421:I.Data[2].3	OPT Láhev 1
OPT_2	12	%IX12.1	AC1421:I.Data[3].13	OPT Láhev 2
OPT_3	12	%IX12.2	AC1421:I.Data[3].14	OPT Láhev 3
OPT_4	12	%IX12.3	AC1421:I.Data[3].15	OPT Láhev 4
KEY	13	%IX13.2	AC1421:I.Data[3].10	Klíček
TLAC_STOP	13	%IX13.3	AC1421:I.Data[3].11	Tlačítko Stop

Tab. 7.4: Digitální vstupy



Tag IFM	AS-i Slave	Adresa IFM	Adresa CompactLogix	Popis
POD_1_DOWN	2	%QX2.2	AC1421:O.Data[0].6	Podavač 1 dolu
POD_1_UP	2	%QX2.3	AC1421:O.Data[0].7	Podavač 1 nahoru
POD_2_DOWN	4	%QX4.2	AC1421:O.Data[1].14	Podavač 2 dolu
POD_2_UP	4	%QX4.3	AC1421:O.Data[1].15	Podavač 2 nahoru
VYTAH_DOWN	5	%QX5.2	AC1421:O.Data[1].10	Výtah pohyb dolu
VYTAH_UP	5	%QX5.3	AC1421:O.Data[1].11	Výtah pohyb nahoru
RED	7	%QX7.0	AC1421:O.Data[1].0	Maják červená
GREEN	7	%QX7.1	AC1421:O.Data[1].1	Maják zelená
ORANGE	7	%QX7.2	AC1421:O.Data[1].2	Maják oranžová
TLAC_3_LIGHT	9	%QX9.2	AC1421:O.Data[2].10	Tlačítko 3 podsvícení
TLAC_4_LIGHT	9	%QX9.3	AC1421:O.Data[2].11	Tlačítko 4 podsvícení
TLAC_1_LIGHT	10	%QX10.2	AC1421:O.Data[2].6	Tlačítko 1 podsvícení
TLAC_2_LIGHT	10	%QX10.3	AC1421:O.Data[2].7	Tlačítko 2 podsvícení
TLAC_STOP_LIGHT	13	%QX13.1	AC1421:O.Data[3].9	Tlačítko Stop podsvícení

Tab. 7.5: Digitální výstupy

Dále byla definována vlastní komunikace mezi automaty (tabulka 7.6 a 7.7), pro ovládání a monitorování barmana. Komunikace obsahuje proměnné pro ovládání a monitorování stavu obou podavačů a výtahu. Dále dva komunikační čítače pro monitorování stavu komunikace v obou směrech a poslední proměnnou pro ovládání signalizačního majáku. Význam jednotlivých proměnných bude vysvětlen v následujících podkapitolách.

Název	Adresa IFM	Adresa CompactLogix
Operace_podavac_1_STA	%QW373	AC1421:I.Data[89]
Operace_podavac_2_STA	%QW374	AC1421:I.Data[90]
Operace_vytah_STA	%QW375	AC1421:I.Data[91]
Komunikace_counter_IN	%QW376	AC1421:I.Data[92]

Tab. 7.6: Komunikace z automatu AC1421 do automatu CompactLogix

Název	Adresa IFM	Adresa CompactLogix
Operace_podavac_1_CMD	%IW373	AC1421:O.Data[64]
Operace_podavac_2_CMD	%IW374	AC1421:O.Data[65]
Operace_vytah_CMD	%IW375	AC1421:O.Data[66]
Komunikace_counter_OUT	%IW376	AC1421:O.Data[67]
Machine_state	%IW377	AC1421:O.Data[68]

Tab. 7.7: Komunikace z automatu CompactLogix do automatu AC1421

## 7.4.2 Ifm electronic

Automat AC1421 je určen pouze pro vykonávání základních operací na základě příkazů z nadřazeného automatu. V automatu jsou realizované moduly pro monitorování komunikace, modul pro operace vzduchových válců a moduly pro signalizaci stavů stroje pomocí majáku a pro signalizaci ovládní v manuálním režimu pomocí LED podsvícení ovládacích tlačítek.

### Komunikace

Tato část programu monitoruje komunikaci mezi oběma automaty. Program každou sekundu inkrementuje komunikační čítač, jehož hodnota je posílána do nadřazeného automatu. Stejně tak automat přijímá hodnotu čítače z nadřazeného automatu. V případě výpadku komunikace, automat přejde během 10 sekund do stavu poruchy, kdy nevykonává žádné operace a čeká na obnovení komunikace.

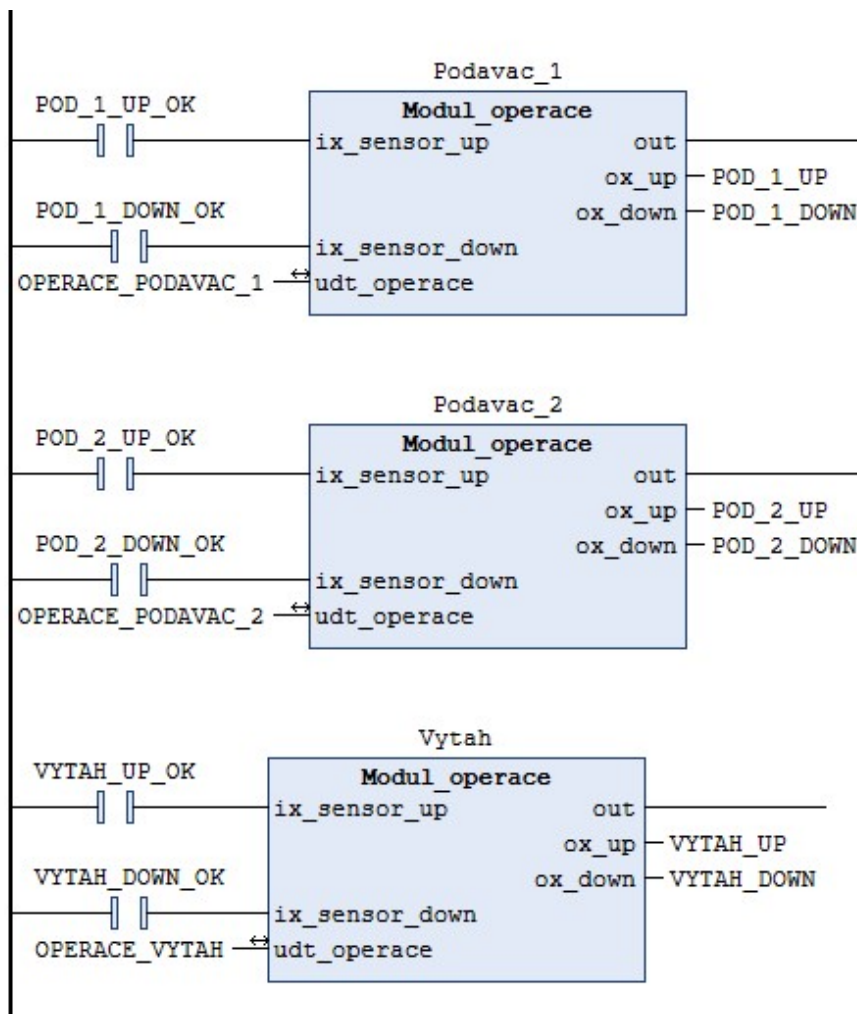
### Modul operace

Protože barman obsahuje tři pneumatické válce, které jsou ovládané (vysunout, zasunout) a monitorované (vysunuto, zasunuto) stejným způsobem, byl vytvořen jeden univerzální funkční blok pro ovládní pneumatického válce. Pro tyto účely byla vytvořena univerzální struktura pro snadné ovládní a monitorování nadřazeným automatem. V tabulce 7.8 je zobrazena definovaná struktura.

	Proměnná	Datový typ	Popis
Stavy	Complete	BOOL	Operace dokončena
	Running	BOOL	Operace v běhu
	Error	BOOL	Operace skončila chybou
Příkazy	Start	BOOL	Start operace
	Stop	BOOL	Stop operace
	UP	BOOL	Příkaz nahoru
	DOWN	BOOL	Příkaz dolů

Tab. 7.8: Popis struktury operace

Jak je vidět v tabulkách 7.6 a 7.7, byly vytvořeny tři proměnné (Operace\_podavac\_1, Operace\_podavac\_2 a Operace\_vytah) dané struktury, které jsou namapované na komunikaci s nadřazeným automatem. Modul operace pouze vykonává operace na základě požadavků z nadřazeného automatu a předává zpět informaci o vykonávané operaci. Jak je vidět na obrázku 7.12, modul také využívá fyzické vstupy (senzory o aktuální pozici válce) a výstupy (ovládání válce) daného válce.



Obr. 7.12: Volání modulů operace pro pneumatické válce

### Signalizace tlačítek v manuálním režimu

Tato část programu funguje pouze v případě, kdy je zapnuto manuální řízení barmana. Manuální řízení barmana je realizováno pomocí nadřazeného automatu a bude popsáno v kapitole 7.4.3. Modul má za úkol pomocí LED podsvícení ovládacích tlačítek signalizovat možné operace, které lze aktuálně provést:

- Svítí tlačítko 1-4
  - Možnost načepování nápoje na dané pozici (v případě, kdy je přítomna láhev i s kapalinou)
- Svítí tlačítko STOP
  - Je možný výdej sklenice (výtah je prázdný a ve startovní pozici)

## Signalizace majáku

Poslední část je modul pro ovládání signalizace majáku. Modul pouze nastavuje signalizaci podle aktuálního stavu stroje, získávaného z nadřazeného automatu. V tabulce 7.9 jsou zobrazeny stavy stroje s popisem signalizace majáku. V případě výpadku komunikace s nadřazeným automatem, přejde automat do stavu chyby.

Proměnná	Stav stroje	Popis
Running	V chodu	Svítí zelená
Ready	Připraven k chodu	Svítí oranžová
StartUp	Příprava stroje	Bliká oranžová s frekvencí 1 Hz
Error	Chyba	Svítí červená

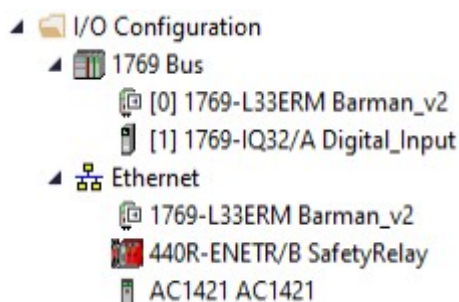
Tab. 7.9: Signalizace stavů barmana

### 7.4.3 CompactLogix

Původní program automatu CompactLogix obsahoval definice fází dávkového řízení, které jsou napojeny na software Equipment Editor. Projekt dále obsahoval programy pro monitorování komunikace s automatem AC1421, program pro monitorování výroby a program pro sledování režimu výroby. Projekt dále obsahuje dvě Add-On instrukce pro výdej sklenice ze zásobníku a přesun dopravníku na zadanou pozici. Tyto Add-On instrukce v programu nakonec využity nebyly.

#### Hardwarová konfigurace

Nejdříve bylo nutné upravit hardwarovou konfiguraci, zejména šlo o změnu IP adresy automatu AC1421. Dalšími úpravami bylo již zmiňované přidání komunikačního rozhraní bezpečnostního relé a přidání karty digitálních vstupů. Na obrázku 7.13 je vidět vytvořená konfigurace v prostředí Studio 5000.



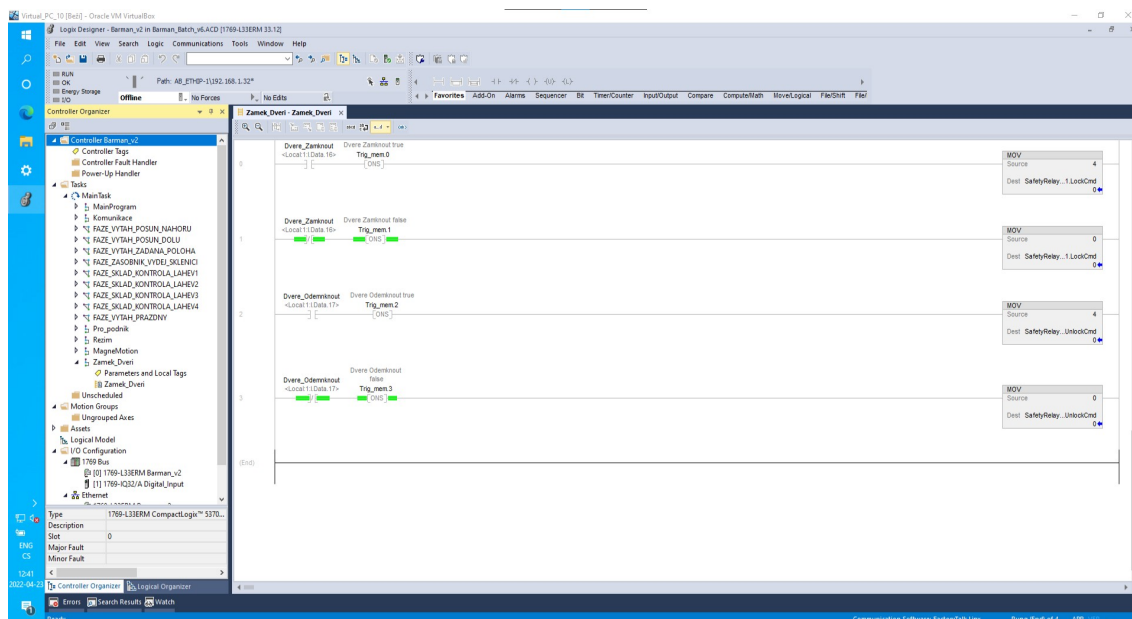
Obr. 7.13: Hardwarová konfigurace v prostředí Studio 5000

## Komunikace

Tato část programu slouží pro monitorování komunikace s automatem AC1421 a pracuje na stejném principu.

## Ovládání zámku dveří

Program slouží pro ovládání zámku dveří pomocí dvou tlačítek připojených na digitální vstupy automatu a komunikačního rozhraní bezpečnostního relé.



Obr. 7.14: Ukázka kódu ovládání zámku dveří

## Fáze

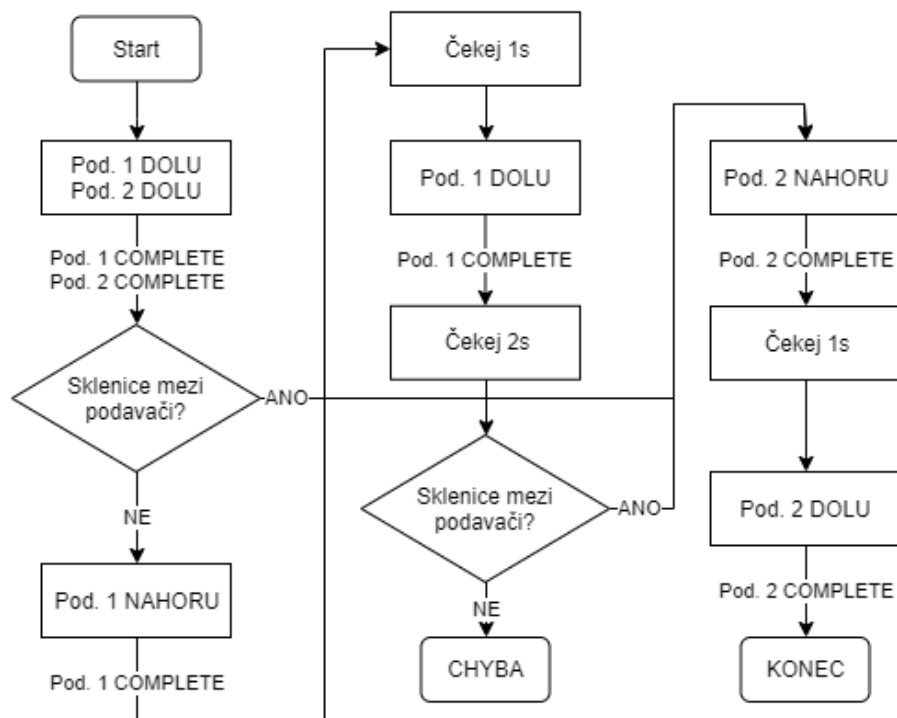
V této části programu je definována funkčnost jednotlivých fází dávkového řízení. Seznam všech definovaných fází je zobrazen v tabulce 7.10.

Fáze	Popis
FAZE_VYTAH_POSUN_NAHORU	Posun výtahu do horní pozice
FAZE_VYTAH_POSUN_DOLU	Posun výtahu do dolní pozice
FAZE_VYTAH_ZADANA_POLOHA	Posun dopravníku na zadanou pozici
FAZE_ZASOBNIK_VYDEJ_SKLENICI	Provedení výdeje sklenice
FAZE_SKLAD_KONTROLA_LAHEV1-4	Kontrola přítomnosti láhve i s kapalinou
FAZE_VYTAH_PRAZDNY	Kontrola prázdného výtahu

Tab. 7.10: Seznam definovaných fází

V programu fází muselo být uděláno několik úprav. Ve fázích, které prováděly pouze kontrolu barmana (kontrola lahví a prázdného výtahu), bylo potřeba změnit adresy vstupů jednotlivých senzorů. Tahle úprava byla nutná kvůli změně v komunikaci, kdy starý program nevyužíval proměnných přenášejících z fyzických vstupů barmana, ale tyto proměnné byly namapovány ve vlastní komunikaci mezi automaty. Další úpravy bylo nutné provést ve fázích pro posuv výtahu, aby bylo možné využití nové definice operací v automatu AC1421.

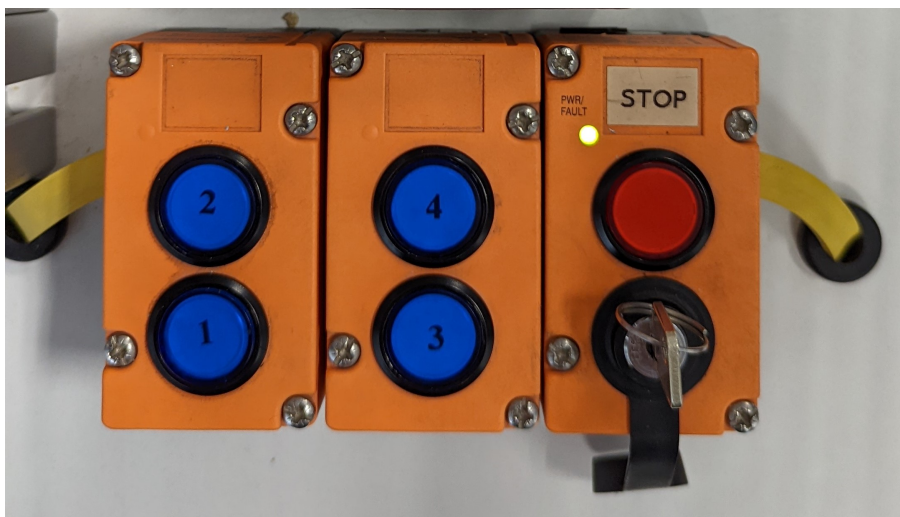
Dále musely být upraveny i fáze pro výdej sklenice a posuv dopravníku. Tyto dvě části mají vlastní subroutiny, do kterých se přechází pomocí globálních proměnných. Program pro posuv dopravníku je již popsán v kapitole 7.1.2. Logika subroutiny pro výdej sklenic je blokově zobrazena na obrázku 7.15.



Obr. 7.15: Stavový diagram programu pro výdej sklenice

### Manuální řízení

Poslední část, která byla implementována, bylo manuální řízení barmana. Při manuálním režimu je barman ovládán pomocí pěti ovládacích tlačítek. Manuální režim se aktivuje otočením klíčku do zapnuté polohy. Na obrázku 7.16 jsou zobrazena ovládací tlačítka s klíčkem, který se nachází ve vypnuté poloze.



Obr. 7.16: Tlačítka pro manuální ovládání barmana

V následující části bude popsán způsob ovládání barmana v manuálním režimu:

**Pohyb dopravníku mezi pozicemi** - přesun dopravníku mezi pozicemi je ovládán pomocí stisknutí některého z ovládacích tlačítek:

- Stisknutí tlačítka 1-4 - přesun dopravníku na pozici 1-4
- Krátké stisknutí tlačítka STOP (stisk kratší jak 1s) - přesun dopravníku na pozici pro výdej sklenice
- Dlouhé stisknutí tlačítka STOP (stisk delší jak 3s) - přesun dopravníku na pozici pro odebrání nápoje

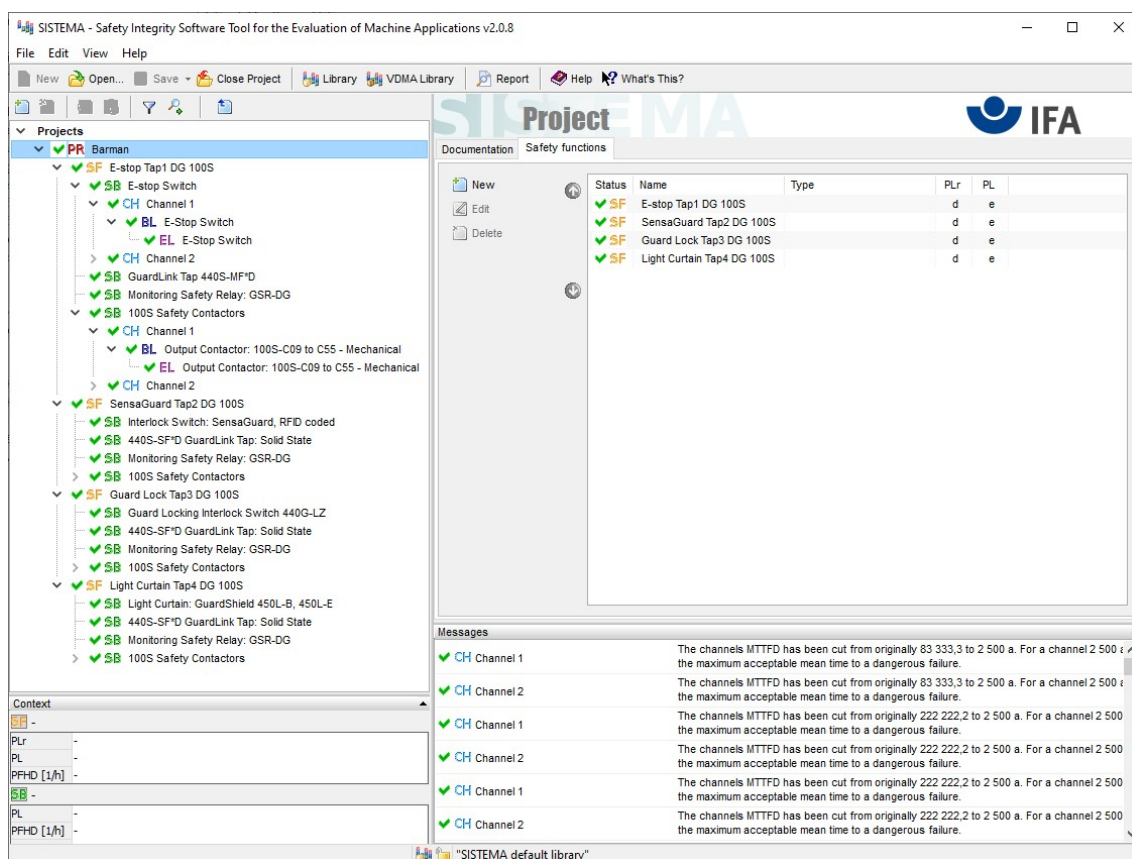
**Výdej sklenice** - v případě, kdy se dopravník nachází v pozici pro výdej sklenice (je sepnut magnetický senzor v pozici pro výdej) a výtah je prázdný, lze pomocí krátkého stisknutí tlačítka STOP provést výdej sklenice. Stav, kdy je možné provést výdej sklenice, je signalizován pomocí podsvícení tlačítka STOP.

**Čepování nápoje** - v případě, kdy se dopravník nachází v pozici 1-4 (je sepnut magnetický senzor v pozici 1-4) a zároveň je v dané pozici detekována láhev i s kapalinou a zároveň je detekována sklenice ve výtahu, lze pomocí stisknutí příslušného tlačítka 1-4 provést čepování nápoje z dané pozice. Stav, kdy je možné provést čepování nápoje, je signalizován pomocí podsvícení příslušného tlačítka 1-4.

## 8 Ověření bezpečnostních opatření

Ověření bezpečnostních opatření bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 13849-1 pomocí softwarového nástroje SISTEMA. Tento nástroj byl vyvinut společností IFA (Institut Für Arbeitsschutz) v Německu jako nestranná certifikační autorita. Název SISTEMA je zkratka pro „Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications“ (Softwarový nástroj pro vyhodnocování bezpečnosti strojních aplikací). [17]

Na obrázku 8.1 je zobrazen vytvořený projekt pro ověření bezpečnostních funkcí barmana. V pravé části je vidět požadovaná úroveň bezpečnostních funkcí  $PL_r = d$  a dosažená úroveň  $PL = e$ . Na základě tohoto ověření můžeme říci, že provedená opatření jsou dostačující. Zdrojový soubor a report projektu je přiložen jako příloha D.



Obr. 8.1: Ověření bezpečnostních funkcí v programu SISTEMA



# Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na posouzení rizik automatizovaného barmana s pohonem MagneMotion. V rámci této práce byla také provedena výměna pneumatického dopravníku za zmiňovaný MagneMotion.

První část práce je rešeršního typu, kde je nejdříve podrobně popsán aktuální stav automatizovaného barmana se všemi jeho částmi, řídicím PLC a průmyslovým standardem EtherNet/IP. Dále je obecně popsána technologie MagneMotion a následně produkt MagneMover LITE, který je využit v práci. Je zde popsán princip fungování motoru, jehož základem je lineární synchronní motor, jednotlivé komponenty přepravního systému a jeho architektura. V poslední části rešerše je popsána technologie GuardLink a její základní vlastnosti a výhody. Dále jsou detailně rozebrány jednotlivé části systému, a to bezpečnostní relé DG, síťové rozhraní pro EtherNet/IP a odbočky, které slouží pro připojení vstupních bezpečnostních zařízení.

Další část práce se věnuje posouzení rizik strojního zařízení dle normy ČSN EN ISO 12 100, které bylo vypracováno na model barmana. V práci jsou určeny mezní hodnoty stroje, identifikována nebezpečí a nebezpečné situace a je proveden jejich odhad rizika. Na základě zhodnocení rizika bylo následně provedeno snížení rizika.

Následující kapitola popisuje všechny navrhované úpravy na rekonstrukci barmana. První návrh popisuje výměnu zmiňovaného dopravníku. V práci byl použit dopravník MagneMover LITE o délce 1000 mm a dále jsou popsány jeho možnosti montáže a nutné úkony pro správnou montáž, způsob uchycení výtahu a úpravy na konstrukci barmana. Další navrhovaná úprava popisuje úpravu a přemístění elektrických zařízení barmana, která je navrhována kvůli identifikovanému nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Dále je navržen obvod GuardLink společně s bezpečnostními funkcemi barmana, které jsou navrhovány na základě posouzení rizik. Poslední částí, kterou se zabývá návrh, je topologie síťového zapojení barmana.

Další kapitola se zabývá realizací navrhovaných úprav. Nejdříve je popsána realizace výměny dopravníku, která byla z větší části provedena podle návrhu. Protože stávající konstrukce výtahu byla příliš těžká na dopravník MagneMotion, byly vytvořeny nové plastové držáky. Dále jsou popsány konfigurační soubory a jejich nahrání do systému MagneMotion a nakonec je popsána úprava řídicího softwaru pro PLC a jeho začlenění do stávajícího systému barmana. Dále jsou popsány úpravy na elektrickém zapojení barmana a přesunutí veškeré elektroniky do oploceného prostoru pod deskou stolu. Poté je popsána realizace systému GuardLink, jehož zapojení je realizováno podle návrhu. Je zde popsán způsob konfigurace bezpečnostního relé, konfigurace síťového rozhraní pro EtherNet/IP a jeho začlenění do hardwarové konfigurace, výpočet poklesu napětí systému GuardLink a výpočet vzdálenosti pro umís-

tění optické závory od nebezpečného prostoru a je popsáno konečné umístění všech bezpečnostních zařízení. Poslední část realizace popisuje úpravy řídicích softwarů pro PLC CompactLogix a AC1421. Zejména pro pozdější využití při dalších pracích na barmanovy je popsán způsob komunikace mezi oběma automaty. Z důvodu nefunkčnosti řídicího programu byl vytvořen nový program pro automat AC1421 a v programu automatu CompactLogix byly provedeny úpravy pro zprovoznění barmana.

V poslední části práce byla ověřena a otestována všechna realizovaná bezpečnostní opatření. Ověření bylo provedeno pomocí softwarového nástroje SISTEMA, kde byla spočítána výsledná úroveň bezpečnosti  $PL = e$  a požadovaná úroveň byla  $PLr = d$ . Při snižování rizika se podařilo všechny identifikovaná nebezpečí zcela eliminovat nebo dostatečně snížit.

# Literatura

- [1] PODRABSKÝ, Tomáš. *Automatizovaný barman*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Radek Štohl, Ph.D.
- [2] KUNZ, Jiří. *Rekonstrukce automatizovaného barmana*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Radek Štohl, Ph.D.
- [3] IFM ELECTRONIC, Device manual: AS-i EtherNet/IP gateway (AC1421, AC1422). *IFM ELECTRONIC* [online]. 2013-07-31 [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: [https://www.ifm.com/img/ifm\\_Man\\_AS-i\\_EtherNetIP-Gateway\\_AC1421-22\\_UK\\_2013-07-31.pdf](https://www.ifm.com/img/ifm_Man_AS-i_EtherNetIP-Gateway_AC1421-22_UK_2013-07-31.pdf)
- [4] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IX: EtherNet/IP, EtherCAT. *AUTOMA* [online]. 2008, (10), 5 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: [https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/37910.pdf](https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/37910.pdf)
- [5] Technologie nezávislých vozíků. *Rockwell Automation* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.rockwellautomation.com/cs-cz/products/hardware/independent-cart-technology.html>
- [6] Fast, Controlled, Flexible Motion with MagneMover LITE. *Youtube* [online]. 11.3.2020 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ToUh3hIcek>
- [7] *MagneMover LITE User Manual*. Rockwell Automation Publication MMI-UM002E-EN-P, March 2016 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/mmi-um002\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/mmi-um002_-en-p.pdf)
- [8] *STROJNÍ VYBAVENÍ — SAFEBOOK 5. Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení. Zásady, normy a implementace*. Rockwell Automation, 2016, 145 s. Dostupné také z: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/safebk-rm002\\_-cs-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/safebk-rm002_-cs-p.pdf)
- [9] *ČSN EN ISO 12100:2010 (83 3001) Bezpečnost strojních zařízení — Všeobecné zásady pro konstrukci — Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 106 s.

- [10] ČSN EN ISO 13855:2010 (86 982) *Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 40 s.
- [11] *Guardmaster DG Safety Relay and GuardLink System: Rockwell Automation Publication 440R-UM015G-EN-P* [online]. November 2021. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/440r-um015\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/440r-um015_-en-p.pdf)
- [12] *Guardmaster EtherNet/IP Network Interface: Publication 440R-UM009C-EN-P* [online]. July 2019. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/440r-um009\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/440r-um009_-en-p.pdf)
- [13] GuardLink Technology. *Rockwell Automation* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.rockwellautomation.com/cs-cz/products/hardware/allen-bradley/safety-products/guardlink-technology.html>
- [14] SensaGuard Non-contact Interlock Switches. *Rockwell Automation* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.rockwellautomation.com/cs-cz/products/hardware/allen-bradley/safety-products/safety-sensors/safety-interlock-switches/non-contact-interlock-switches/440n-sensaguard.html#>
- [15] 440G-LZ Guard Locking Switches. *Rockwell Automation* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.rockwellautomation.com/cs-cz/products/hardware/allen-bradley/safety-products/safety-sensors/safety-interlock-switches/guard-locking-switches/440g-lz.html>
- [16] 450L GuardShield POC Safety Light Curtains. *Rockwell Automation* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.rockwellautomation.com/cs-cz/products/hardware/allen-bradley/safety-products/safety-presence-sensors/light-curtains/poc-safety-light-curtains/450l-b-safety-light-curtain.html>
- [17] Software-Assistent SISTEMA: Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications. *Institut Für Arbeitsschutz* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/practical-solutions-machine-safety/software-sistema/index.jsp>

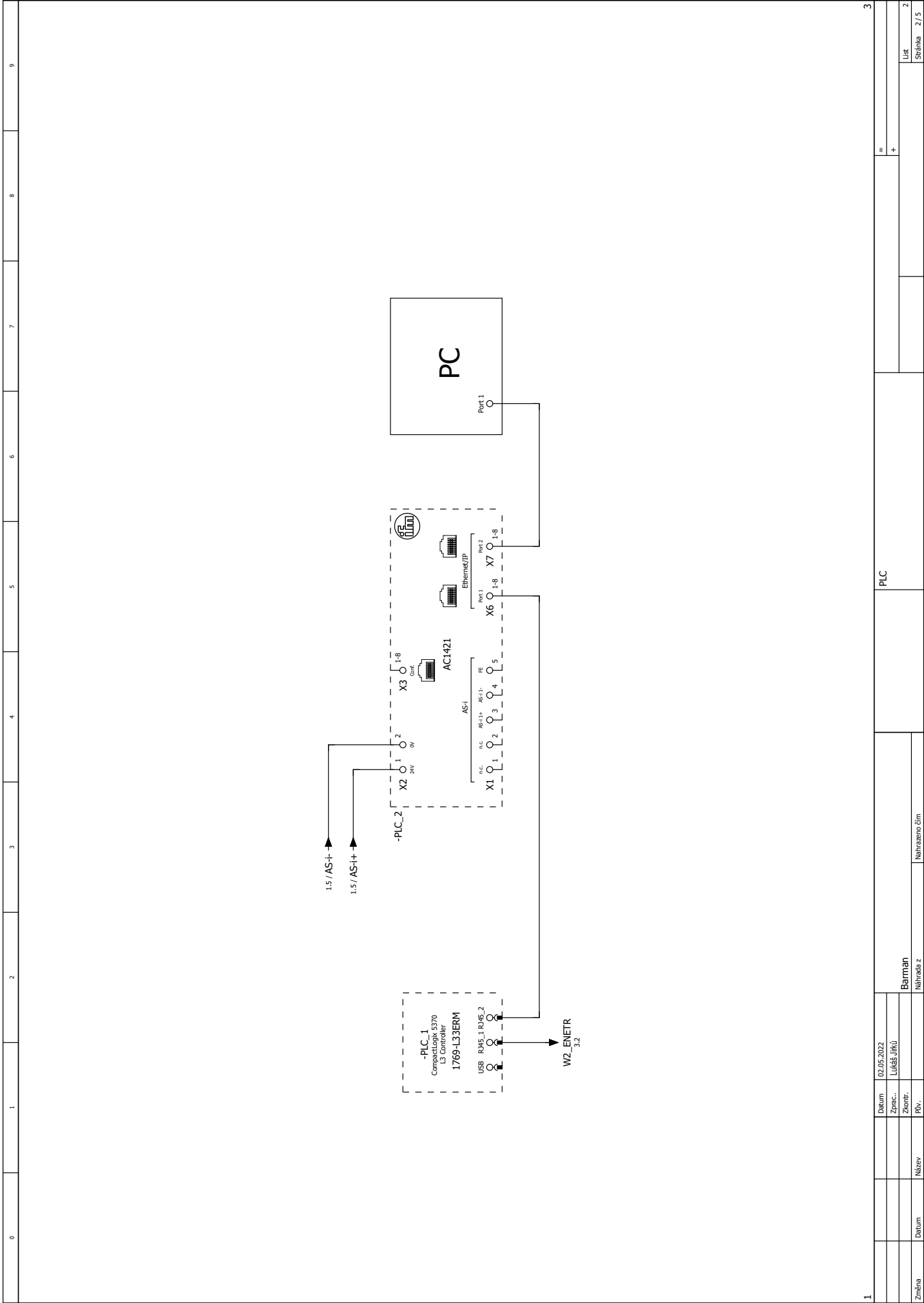
# Seznam příloh

A Seznam elektronických příloh	70
B Schéma elektrického zapojení barmana	71
C Protokol z měření doběhu	76
D Zkrácený report SISTEMA	78

# A Seznam elektronických příloh

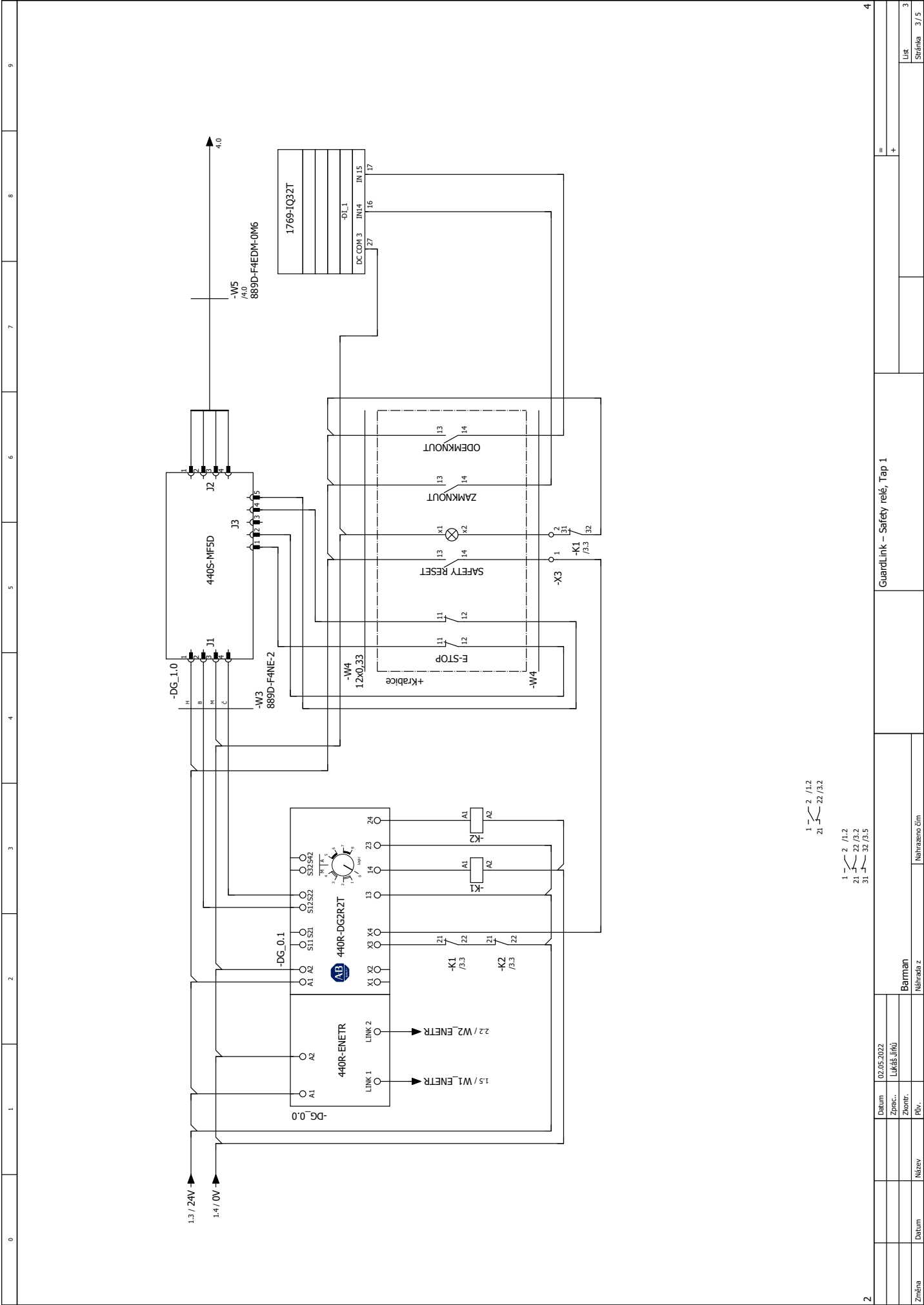
- Program pro Studio 5000
  - *Barman.ACD* - zdrojový soubor projektu
  - *Barman\_report.pdf* - report projektu
- Program pro CODESYS
  - *barman\_v2.project* - zdrojový soubor projektu
  - *barman\_v2\_report.pdf* - report projektu
- Projekt pro SISTEMA
  - *Barman.ssm* - zdrojový soubor projektu
  - *Report\_sistema.pdf* - zkrácený report projektu
  - *Report\_sistema\_detail.pdf* - detailní report projektu
- Konfigurační soubory pro MagneMotion
  - *Layout\_Design.ndx* - konfigurační soubor pro MagneMotion ML Configurator Tool
  - *Node\_Controller\_Config.xml* - konfigurační soubor pro MagneMotion ML Configurator Tool
  - *Track\_Config.mmtrk* - generovaný Track File z konfigurace
  - *MICS.xml*
- Zdrojové soubory pro 3D modely
  - *Drzak\_vytahu.ipt*
  - *Podtacek.ipt*
  - *Drzak\_senzoru.ipt*
- Výpočet poklesu napětí
  - *GuardLink\_Voltage\_Drop.xlsx*
- Schéma elektrického zapojení barmana
  - *Barman\_el\_schema.pdf*
- Protokol z měření dobehu
  - *Mereni\_dobehu.pdf*



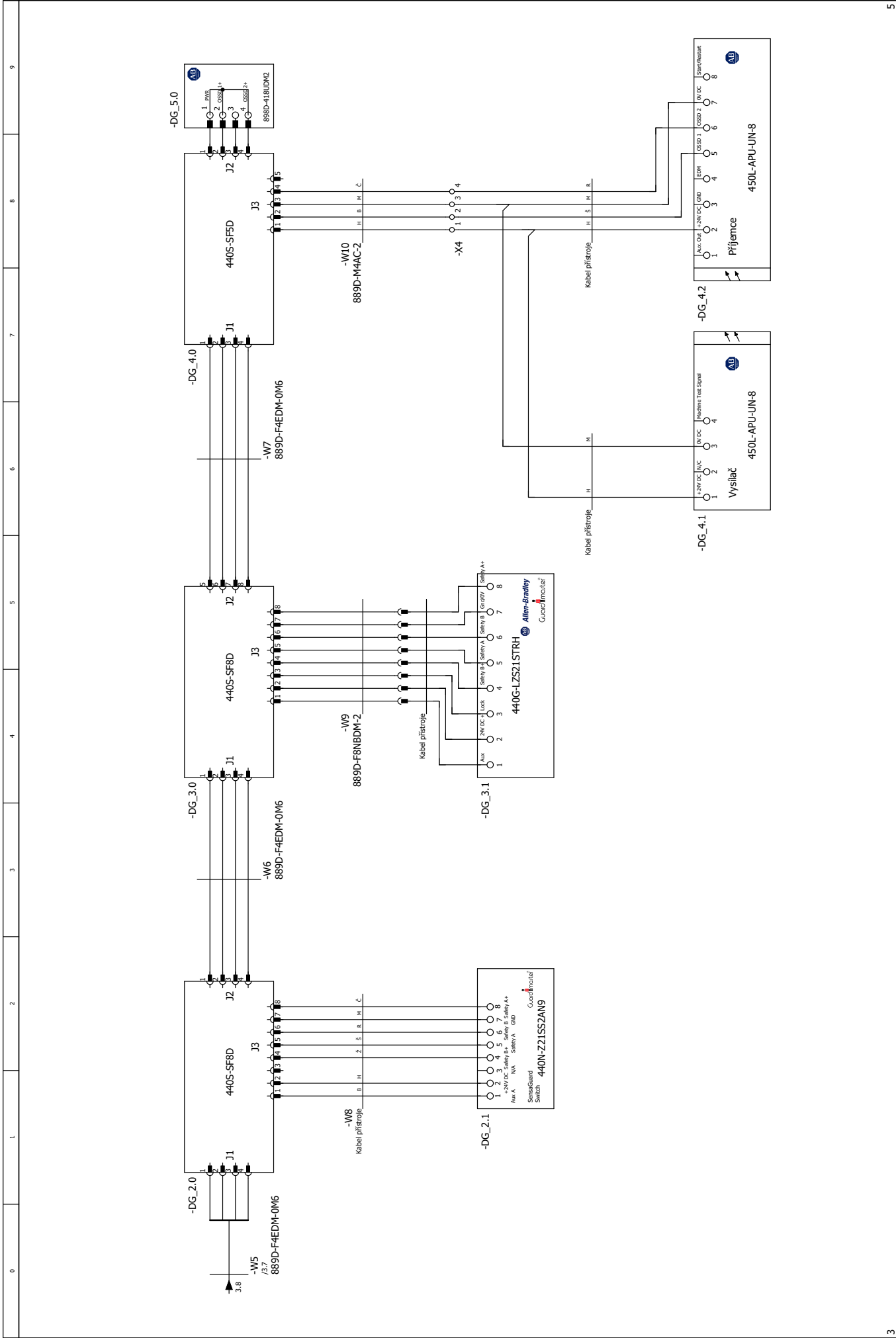


0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
3									
PLC									
=									
+									
Lit									
Stránka 2 / 5									
Datum									
Název									
Zprac..									
Zkontr.									
Přiv.									
Náhradno čim									
Barman									
Náhradno z									





0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>GuardLink – Safety relé, Tap 1</b>										
Změna	Datum	Název	Návrázeno čim				Barmán		Lič	3
	Datum	02.05.2022	Lukáš Jirák				Srněna		3 / 5	
	Zprac.									
	Zkont.									
	Přiv.									



GuardLink – Tap 2, 3, 4		5	
Změna	Datum	Název	Lič
	02.05.2022	Barmán	4 / 5
	Luďák Jiří	Návrhová čí	
	Zkont.		
	Přiv.		

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p><b>-PLC_1</b> CompactLogix 5370 L3 Controller</p>			<p><b>-Z4</b> Compact I/O Expansion Power Supply</p>			<p><b>-DI_1</b> Compact 24V DC sink/source input module</p>			
<p>4</p>									
Změna		Datum		Název		Zprac..		Zkontr.	
						02.05.2022		Lukáš Jirků	
Barmán		Náhradní z		Náhradeno čim		Přehled		=	
								+ +	
								Lst	
								Stránka 5 / 5	

# C Protokol z měření doběhu

## Stop time measurement protocol

**Date:** 11.04.2022  
**Time:** 10:11  
**Company:** ControlTech  
**Measured by:** Pvalla

**Machine ID:** Automatický barman  
**Note:**  
**Safety Device:** Vertikální sv telná závora  
**Device params:** d=14 mm

**Standstill Speed:** 10 mm/s  
**Device ID:** uSTM device, Manufacturer: Josef Sipula, <http://www.microstm.com>  
**Device SN:** 07E20604016D8B  
**Last Calibration:** 1/12/2021

## Measured Values

#	Result [ms]
1	269,4
2	270,0
3	288,3
4	282,8
5	278,5
6	279,8
7	271,7
8	287,0
9	289,1
10	294,2

**Mean time:** 281 ms  
**Maximum time:** 294 ms  
**+3 standard deviation:** 307 ms

**Safety Distance:** 500 mm / 19,69 Inch  
**Check for minimum safety Distance!**

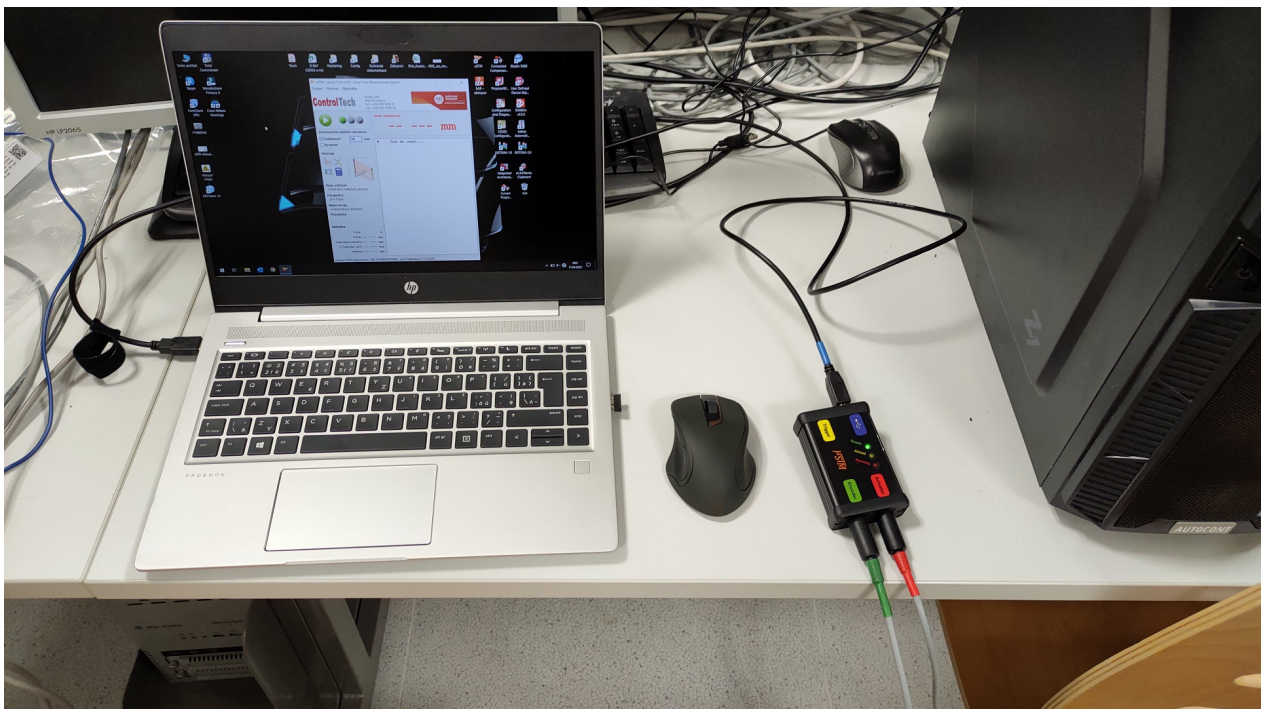
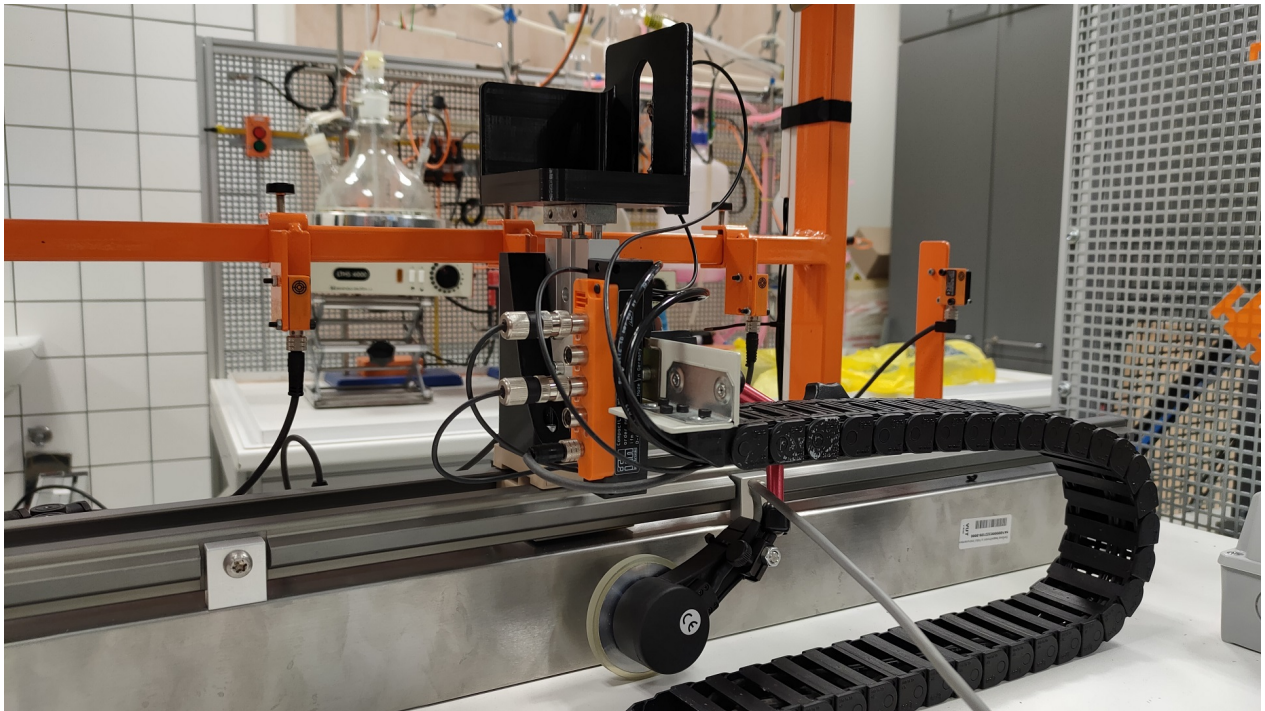
ISO 13855:2010

**How to calculate the overall system stopping performance**

One measurement is not sufficient for calculating the minimum distance. At least 10 measurements are required.

A statistical way of covering 99,7% of all individuals in a normally distributed population is to calculate the mean value  $\pm 3$  standard deviations.

The highest measured value or the mean plus three standard deviations, whichever is the greater, should be used in the calculation of the minimum distance.



# D Zkrácený report SISTEMA

## SISTEMA - Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine



Project name: Barman

File date: 26.04.2022 20:47:21 Report date: 26.04.2022 Checksum: 7009ecbf03c8151918e057f3a6dc5caf

### PR Project name: Barman

Project file name:	D:\Plocha\Diplomová práce\diplomova-prace\Program\Sistema\Barman.ssm
Creation date:	01.04.2022 12:25:16
Project status:	
Project number:	
Project version:	
Authors:	Lukáš Jirků
Project managers:	
Inspectors:	
Dangerous point/machine:	
Documentation:	
Document:	
Version of software:	2.0.8 build 4
Version of standard:	ISO 13849-1:2015, ISO 13849-2:2012
Checksum:	7009ecbf03c8151918e057f3a6dc5caf
Options:	<input checked="" type="checkbox"/> Use DC intermediate levels for calculation of PFHD (more precise) <input type="checkbox"/> MTTFD capping for category 4 lower from 2500 to 100 years.
Status:	green
Note:	There are no warnings listed for this project (or it's subordinate basic elements).

### Print options

- Show Safety functions  also show Subsystems  
 also show Blocks  also show Elements

### Contained safety functions

**SF** Name: E-stop Tap1 DG 100S

Required: PLr d Reached: PL e PFHD [1/h]: 2,1E-8 Status: green

### Contained subsystems

**SB** Name: E-stop Switch

Resulting PL: e PFHD [1/h]: 9,1E-10 Category: 4  
MTTFD [a]: 2500 (High) DCavg [%]: 99 (High) CCF Points: 65 (fulfilled)

### Contained channels / blocks / Elements

**CH** Name: Channel 1 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: E-Stop Switch

MTTFD [a]: 83333,3 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: E-Stop Switch

MTTFD [a]: 83333,3 (High) DC [%]: 99 (High)

**CH** Name: Channel 2 (MTTFD [a]: 2500)



Project name: Barman

File date: 26.04.2022 20:47:21 Report date: 26.04.2022 Checksum: 7009ecbf03c8151918e057f3a6dc5caf

**PR Project name: Barman**

**BL** Name: E-Stop Switch

MTTFD [a]: 83333,3 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: E-Stop Switch

MTTFD [a]: 83333,3 (High) DC [%]: 99 (High)

**SB** Name: GuardLink Tap 440S-MF\*D

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 2,7E-10	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

**SB** Name: Monitoring Safety Relay: GSR-DG

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 1,9E-8	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

**SB** Name: 100S Safety Contactors

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 9,1E-10	Category: 4
MTTFD [a]: 2500 (High)	DCavg [%]: 99 (High)	CCF Points: 65 (fulfilled)

**Contained channels / blocks / Elements**

**CH** Name: Channel 1 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 22222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 22222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**CH** Name: Channel 2 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 22222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 22222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**SF** Name: SensaGuard Tap2 DG 100S

Required: PLr d	Reached: PL e	PFHD [1/h]: 2,1E-8	Status: green
-----------------	---------------	--------------------	---------------

**Contained subsystems**

**SB** Name: Interlock Switch: SensaGuard, RFID coded

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 1,1E-9	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

**SB** Name: 440S-SF\*D GuardLink Tap: Solid State

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 2,7E-10	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

**SB** Name: Monitoring Safety Relay: GSR-DG

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 1,9E-8	Category: 4
MTTFD [a]: not relevant	DCavg [%]: not relevant	CCF Points: not relevant

**SB** Name: 100S Safety Contactors

Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 9,1E-10	Category: 4
MTTFD [a]: 2500 (High)	DCavg [%]: 99 (High)	CCF Points: 65 (fulfilled)



Project name: Barman

File date: 26.04.2022 20:47:21 Report date: 26.04.2022 Checksum: 7009ecbf03c8151918e057f3a6dc5caf

**PR Project name: Barman**

**Contained channels / blocks / Elements**

**CH** Name: Channel 1 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**CH** Name: Channel 2 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**SF** Name: Guard Lock Tap3 DG 100S

Required: PLr d

Reached: PL e

PFHD [1/h]: 2,3E-8

Status: green

**Contained subsystems**

**SB** Name: Guard Locking Interlock Switch 440G-LZ

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 2,8E-9

Category: 4

MTTFD [a]: not relevant

DCavg [%]: not relevant

CCF Points: not relevant

**SB** Name: 440S-SF\*D GuardLink Tap: Solid State

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 2,7E-10

Category: 4

MTTFD [a]: not relevant

DCavg [%]: not relevant

CCF Points: not relevant

**SB** Name: Monitoring Safety Relay: GSR-DG

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 1,9E-8

Category: 4

MTTFD [a]: not relevant

DCavg [%]: not relevant

CCF Points: not relevant

**SB** Name: 100S Safety Contactors

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 9,1E-10

Category: 4

MTTFD [a]: 2500 (High)

DCavg [%]: 99 (High)

CCF Points: 65 (fulfilled)

**Contained channels / blocks / Elements**

**CH** Name: Channel 1 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**CH** Name: Channel 2 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**SF** Name: Light Curtain Tap4 DG 100S



# SISTEMA - Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine



Project name: Barman

File date: 26.04.2022 20:47:21 Report date: 26.04.2022 Checksum: 7009ecbf03c8151918e057f3a6dc5caf

## PR Project name: Barman

Required: PLr d Reached: PL e PFHD [1/h]: 3,3E-8 Status: green

### Contained subsystems

**SB** Name: Light Curtain: GuardShield 450L-B, 450L-E

Resulting PL: e PFHD [1/h]: 1,3E-8 Category: 4

MTTFD [a]: not relevant DCavg [%]: not relevant CCF Points: not relevant

**SB** Name: 440S-SF\*D GuardLink Tap: Solid State

Resulting PL: e PFHD [1/h]: 2,7E-10 Category: 4

MTTFD [a]: not relevant DCavg [%]: not relevant CCF Points: not relevant

**SB** Name: Monitoring Safety Relay: GSR-DG

Resulting PL: e PFHD [1/h]: 1,9E-8 Category: 4

MTTFD [a]: not relevant DCavg [%]: not relevant CCF Points: not relevant

**SB** Name: 100S Safety Contactors

Resulting PL: e PFHD [1/h]: 9,1E-10 Category: 4

MTTFD [a]: 2500 (High) DCavg [%]: 99 (High) CCF Points: 65 (fulfilled)

### Contained channels / blocks / Elements

**CH** Name: Channel 1 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**CH** Name: Channel 2 (MTTFD [a]: 2500)

**BL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**EL** Name: Output Contactor: 100S-C09 to C55 - Mechanical

MTTFD [a]: 222222,2 (High) DC [%]: 99 (High)

**Project name:** Barman

File date: 26.04.2022 20:47:21 Report date: 26.04.2022 Checksum: 7009ecbf03c8151918e057f3a6dc5caf

---

## EXCLUSION OF LIABILITY

Care has been taken in production of the software SISTEMA, which corresponds to the state of the art. It is made available to users free of charge.

Die Software wurde gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik sorgfältig erstellt. Sie wird dem Nutzer unentgeltlich zur Verfügung gestellt.

Die Haftung des IFAs/ DGUV ist damit auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit (§ 521 BGB) bzw. bei Sach- und Rechtsmängel auf arglistig verschwiegene Fehler beschränkt (523, 524 BGB).

The IFA undertakes to keep its website free of viruses; nevertheless, no guarantee can be given that the software and information provided are virus-free. The user is therefore advised to take appropriate security precautions and to use a virus scanner prior to downloading software, documentation or information.

## CONTACT

Institute for Occupational Health and Safety of German Social Accident Insurance (IFA)  
Division 5: Accident Prevention / Product Safety  
Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin  
E-mail: [sistema@dguv.de](mailto:sistema@dguv.de)  
[www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa) (Webcode e561582)

---

Name in block letters: \_\_\_\_\_

Authors

Inspectors

Date, signature: \_\_\_\_\_

Authors

Inspectors