

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh jednoúčelového zařízení řízeného pomocí PLC

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Svatoslav TOŠNER**
Osobní číslo: **E17N0024K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Návrh jednoúčelového zařízení řízeného pomocí PLC**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Vypracování rešerše na téma automatizace řízení se zaměřením na PLC.
2. Popis aktuálního procesu a požadavky na nové zařízení.
3. Vytvoření koncepce nového zařízení a výběr vhodných komponent.
4. Výkresová dokumentace v CAD systému včetně kusovníku.
5. Vytvoření programového vybavení pro PLC řídicí systém a ovládací HMI panel. Uvedení zařízení do provozu.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Firemní dokumentace Siemens k PLC Simatic S7-1200 (<http://www.siemens.cz>)
2. Firemní dokumentace Siemens k HMI Comfort panelům (<http://www.siemens.cz>)
3. Firemní dokumentace Beckhoff k protokolu EtherCAT
4. International standard IEC 61131

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Basl, Ph.D.**
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na konstrukci jednoúčelového stroje řízeného pomocí programovatelného logického automatu (PLC) včetně tvorby technické dokumentace v CAE systému Eplan a návrhu kompletního softwaru pro PLC a vizualizace HMI panelu. Téma diplomové práce jsem si zvolil na základě mé praxe ve společnosti Engel strojírenská spol. s r.o., kde při studiu pracuji na pozici konstruktéra a PLC programátora.

Úvodní část diplomové práce obsahuje řešerši odborných zdrojů zaměřených na problematiku programovatelných automatů. Dále je zde zmíněna bezpečnost strojních zařízení, které je při návrhu každého moderního strojního zařízení nutné dosáhnout, a v neposlední řadě je zde zmíněn návrhový CAE program EPLAN, s jehož pomocí je v praktické části vytvořena technická dokumentace potřebná pro kompletní zapojení námi navrhovaného zařízení.

Praktická část je zaměřena na návrh technické dokumentace jednoúčelového strojního zařízení a tvorby řídicího softwaru pro PLC značky Siemens včetně vizualizace na HMI panelu od stejnojmenného výrobce.

Klíčová slova

Automatizace, inženýring, programovatelný logický automat, PLC, HMI, vizualizace, Eplan

Abstract

The presented diploma thesis is focused on the construction of a single-purpose machine controlled by programmable-logic controller (PLC), including the creation of electrical documentation in the CAE system Eplan Electric P8 and the design of complete software for PLC and visualization using an human-machine interface (HMI) panel.

The introductory part of the diploma thesis deals with research on the issue of programmable logic controllers. Furthermore, the safety of machinery is mentioned, which must be achieved in the design of each modern machine, and last but not least, the CAE program EPLAN is mentioned, which is used for creation of technical documentation.

The practical part is focused on the design of technical documentation of the single-purpose machine and creation of control software for Siemens PLC including HMI visualization.

Key words

Automation, engineering, programmable-logic controller, PLC, human-machine interface, HMI, visualization, Eplan

Prohlášení

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.



.....
podpis

V Plzni dne 27.5.2021

Svatoslav Tošner

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Baslovi, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Mé poděkování patří též Bc. Josefu Šefčíkovi za praktické rady při zpracování projektové dokumentace a návrhu softwaru pro řídicí systém.

Obsah

OBSAH	9
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1 PROGRAMOVATELNÝ LOGICKÝ AUTOMAT.....	12
1.1.1 Historie PLC.....	13
1.1.2 Rozdělení PLC.....	14
1.1.3 Struktura PLC.....	15
1.1.4 Vykonávání řídicího programu.....	17
1.1.5 Přerušování řídicího programu.....	18
1.1.6 Programování PLC.....	19
1.2 BEZPEČNOST STROJNÍCH ZAŘÍZENÍ.....	23
1.3 CAE SOFTWARE EPLAN.....	27
2 PRAKTICKÁ ČÁST	30
2.1 KONCEPT STROJE.....	30
2.1.1 Požadavky investora.....	30
2.1.2 3D vizualizace navrženého stroje.....	31
2.2 REALIZACE HARDWAROVÉ ČÁSTI.....	32
2.2.1 Řídicí systém.....	34
2.2.2 Sensorika.....	37
2.2.3 Akční členy.....	42
2.2.4 Zbývající elektroinstalace.....	47
2.3 PROJEKT PLC.....	53
2.3.1 Vývojové prostředí.....	53
2.3.2 Tvorba HW konfigurace.....	54
2.3.3 Tvorba PLC tags.....	57
2.3.4 Tvorba softwaru.....	59
2.4 PROJEKT HMI.....	69
2.4.1 Tvorba HW konfigurace.....	69
2.4.2 Tvorba HMI tags.....	70
2.4.3 Tvorba HMI vizualizace.....	71
2.4.4 Tvorba HMI alarmů.....	74
ZÁVĚR	76
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	78
SEZNAM OBRÁZKŮ	81
SEZNAM TABULEK	83
PŘÍLOHY	1

Úvod

Automatizační technika prošla a nadále prochází bouřlivým vývojem. V dřívějších dobách byla automatizace výhradou velkých výrobních linek, ale dnes lze nalézt prvky automatizace v našich každodenních životech, ať už si uvedeme příklad stále populárnějších chytrých domácností, kde najdeme např. automaticky ovládaná světla, automaticky ovládanou cirkulaci vzduchu, ovládání stínících rolet, ale také v menších spotřebičích, jako jsou automatické pračky, myčky, vysavače, kávovary, sekačky a další nepřeberné množství přístrojů pro kuchyňské a domácí práce.

Tento rozmach automatizační techniky byl primárně zapříčiněn rozšířením a nižší cenou prostředků, které byly donedávna výsadou složitých řídicích systémů (např. mikrořadiče), jež lze dnes nalézt ve spotřebním zboží.

Pokud se na rozšíření automatizační techniky podíváme z pohledu výrobních závodů, hlavními důvody k nasazování těchto technologií je enormní nedostatek zaměstnanců, se kterým se v dnešní době musí výrobní podniky vypořádat. Základním prvkem při vytváření automatizovaných výrobních linek je programovatelný logický automat. V první části této diplomové práce se detailněji podíváme na typy PLC, jejich rozdělení a způsoby programování.

V praktické části zkonstruujeme jednoúčelové strojní zařízení dle předem známých požadavků. V této části vybereme vhodné komponenty pro náš stroj a vypracujeme kompletní technickou dokumentaci potřebnou pro zapojení elektrických a pneumatických obvodů pomocí CAE programu Eplan P8 Electric. Na základě této dokumentace vytvoříme několik podsestav materiálového kusovníku v ERP systému SAP a poté vytvoříme kompletní softwarové řešení pro PLC jednotku a HMI panel. Následně dojde ke stavbě námi navrženého stroje, kompletnímu testu a poté k uvedení kompletního zařízení do provozu.

Seznam symbolů a zkratk

A	Ampér
AI.....	Analog input / Analogový vstup
AO	Analog output/ Analogový výstup
CPU	Central processing unit / Centrální procesorová jednotka
DC.....	Direct current / Stejnsměrný proud
DI.....	Digital input / Digitální vstup
DO	Digital output / Digitální výstup
FBD	Function Block Diagram
HMI	Human Machine Interface
Hz	Herz
IL	Instruction list
LD.....	Ladder Diagram
PL	Performace Level
PLC.....	Programmable Logic Controller
SFC.....	Sequential Function Chart
ST	Structured Text
V	Volt

1 Teoretická část

Automatizace je založena na použití samočinných řídicích systémů určených k řízení technologických celků. Může se jednat o jednotlivá zařízení, budovy, popř. komplexnější procesy.

Pokud na tuto problematiku nahlédneme z pohledu industrializace, jedná se o vývojový krok následující po mechanizaci. Cílem mechanizace je poskytnout lidem k práci takové stroje, které jim usnadní výrobní proces, zatímco cílem automatizace je snížit potřebu lidského faktoru v celkovém výrobním procesu. Zvýšením automatizace výrobního procesu a s ním spojeným snížením lidského faktoru dochází k několika benefitům:

- zvýšení kvality výrobku;
- zvýšení produktivity;
- zvýšení pružnosti (flexibility) výroby;
- zvýšení bezpečnosti práce;
- snížení nároků na lidské zdroje.

Páteří každého automatizovaného procesu je jeho řídicí systém. K řízení takových procesů se využívají programovatelné logické automaty, které jsou v anglické literatuře označovány jako PLC („Programmable Logic Controller“). V německé literatuře se lze setkat s pojmem SPS („Speicherprogrammierbare Steuerung“).

1.1 Programovatelný logický automat

Podle normy ČSN EN 61131-1 je programovatelný logický automat neboli PLC definován jako číslicový elektronický systém navržený pro použití v průmyslovém prostředí, který používá programovatelnou paměť pro uložení uživatelsky orientovaných instrukcí sloužících k implementaci specifických funkcí, jako jsou logické funkce, funkce pro vytváření sekvencí, funkce pro časování, funkce pro čítání a funkce pro aritmetické výpočty, a to za účelem řízení různých typů výrobních strojů a procesů pomocí číslicových a analogových vstupů a výstupů [1].

Jedná se tedy o speciálně upravený typ počítače, který je určený do náročného průmyslového prostředí a je přizpůsobený k přímému napojení na výrobní proces pomocí k tomu určených periférií.

1.1.1 Historie PLC

Na začátku 20. století bylo k automatickému řízení využíváno komplikovaných reléových zapojení. Jejich nevýhodou byla poměrně komplikovaná údržba, ale hlavně složitá změna „řídícího programu“, jelikož takto pracující linky se standardně skládaly z mnoha reléových modulů.

S rozmachem počítačů v 50. letech minulého století došlo také k myšlence nahrazení složitých reléových zapojení právě pomocí programovatelných, počítačem řízených modulů. Stále rostoucí výkonnost a spolehlivost počítačů vedly na začátku 70. let k situaci, kdy bylo možné reálně nasadit tyto počítačové systémy do výrobní automatizace.

S první myšlenkou náhrady reléových řídicích systémů přišel americký výrobce automobilů General Motors. Požadavkem bylo vytvoření automatizačního systému, který by byl spolehlivější než ručně propojované reléové řídicí systémy a zároveň snadněji modifikovatelný, čímž by bylo možné pružněji reagovat na potřebné změny výrobního cyklu [2].

V roce 1968 vyhlásila společnost General Motors soutěž na návrh nového řídicího systému. V zadání byly požadavky na modularitu a možnost snadného rozšíření, odolnost proti vlhku, prachu a vibracím, programování analogického návrhu reléových schémat [3].

Do této soutěže se přihlásily celkem čtyři společnosti: Information Instruments (nyní Rockwell Automation), Digital Equipment, Century Detriot a Bedford Associates (známá také jako Modicon).

Vítězem soutěže se stala americká společnost Bredford Associates a v roce 1969 byl vyroben první programovatelný automat s označením PC (Programmable Controller), který bylo ve srovnání s reléovými jednotkami možné snadno a rychle nainstalovat a uvést do provozu. Avšak jeho největší výhodou bylo jednoduché grafické programování, jež dokonale nahradilo manuální propojování reléových kontaktů.

Historicky prvním PLC se roku 1969 stal Modicon 084. Jednalo se o modulární systém pro řízení procesů, jehož jádrem byl mikroprocesor přizpůsobený pro provoz v náročném průmyslovém prostředí, a s okolním prostředím byl propojen pomocí tzv. rámců (rack), do nichž se instalovaly IO moduly. Tento automat byl vybaven feritovou pamětí o kapacitě 32 kB, kde byl uložen operační i aplikační program. Modicon 084 zvládl obsloužit 256 I/O. K programování tohoto PLC se využívalo programovacího panelu o velikosti kufříku, s jeho pomocí bylo možné nastavit základní funkce automatu [3].

I přestože cílem prvních používaných PLC systémů bylo již výše zmíněné nahrazení složitých reléových zapojení, s rostoucím rozvojem polovodičových součástek rostlo také spektrum použitelnosti těchto logických automatů pro zpracování analogových signálů, matematických funkcí, komunikace s jinými systémy, přenos a archivaci dat atd.

1.1.2 Rozdělení PLC

Z pohledu konstrukce lze dnešní PLC rozdělit do několika skupin, které se od sebe liší především počtem IO, výpočetním výkonem a v neposlední řadě také cenou.

Podle konstrukce můžeme PLC rozdělit následovně:

- **Kompaktní:** U tohoto typu PLC je v jednom modulu integrován CPU, komunikační rozhraní, digitální a analogové vstupy/výstupy. Celková rozšiřitelnost těchto systémů je poměrně omezena. Hlavní výhodou těchto systémů je jejich nízká cena.



Obrázek 1 – Kompaktní PLC Siemens LOGO [4]

- **Modulární:** Modulární PLC se skládají z několika modulů sestavených do jednoho funkčního celku, v němž jeden modul je CPU, k němu jsou připojené periferní moduly, komunikující s CPU pomocí sběrnice. Jelikož tento typ PLC počítá se zpracováním většího počtu signálů, bývají modulární systémy vybaveny vyšším výpočetním výkonem a větší kapacitou paměti.



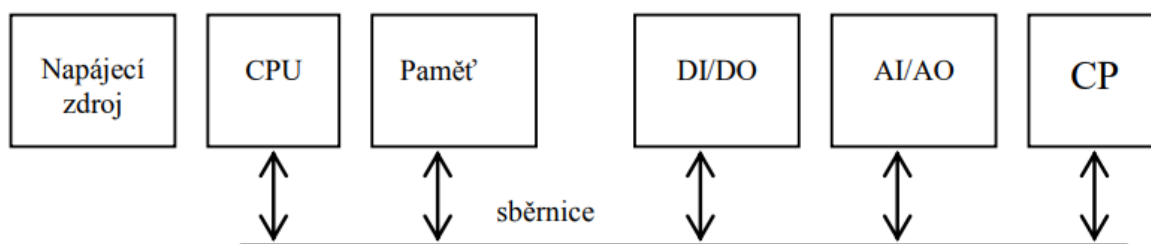
Obrázek 2 – Modulární PLC Siemens S7-1500 [5]

- **SoftPLC:** Soft PLC (softwarové PLC) představuje poměrně novou kategorii řídicích systémů. Jedná se o softwarový logický automat, jehož základ tvoří centrální počítač a moduly připojené na komunikační sběrnici. K programování těchto softwarových PLC lze použít stejné programovací jazyky jako pro standardní PLC definované dle normy IEC 1131-3.

1.1.3 Struktura PLC

Každý programovatelný automat se skládá z centrální procesorové jednotky (CPU), systémové paměti, uživatelské paměti, řady vstupních a výstupních modulů určených pro připojení řízeného systému (technologického procesu, výrobního stroje) a souboru komunikačních jednotek pro komunikaci s nadřazenými a periferními systémy. Tyto

jednotlivé části programovatelného automatu jsou navzájem propojeny systémovou sběrnicí. Na následujícím obrázku je znázorněno základní blokové schéma programovatelného automatu [6, 8].



Obrázek 3 – Blokové schéma programovatelného automatu [6]

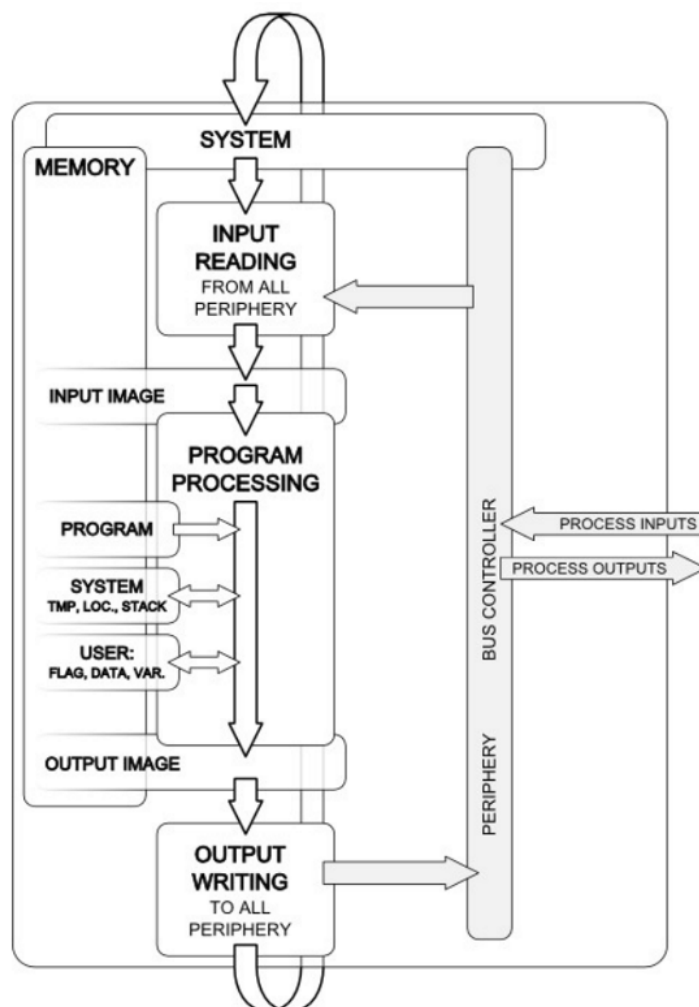
- CPU – lze považovat za mozek programovatelného automatu, který realizuje soubor instrukcí a systémových služeb, zajišťuje komunikační služby mezi jednotlivými moduly.
- Paměť – paměť PLC je dvojího typu, a to systémová, kde jsou uloženy registry, čítače, časovače a také základní operační systém. Druhým typem paměti je uživatelská paměť, která je vyhrazena pro uživatelský program.
- DI/DO – tato část slouží k propojení binárních signálů mezi programovatelným automatem a řízeným systémem (tlačítka, koncové spínače, cívky reléových modulů, stykačů, pneumatických ventilů atd.).
- AI/AO – tato část slouží k propojení analogových signálů mezi programovatelným automatem a řízeným systémem (snímače teploty, tlaku, spojitě ovládané akční členy atd.).
- CP – tato část slouží k připojení nadřazených, popř. periferních systémů. Najdeme zde např. komunikační protokoly Profinet, EtherCAT, Profibus, s jejichž pomocí lze připojit např. vzdálené IO moduly, frekvenční měniče, servo-ovladače atd.

Mezi základní požadavky na PLC jednotky patří:

- odolnost vůči ztíženým průmyslovým podmínkám (teplota, prašnost, vlhkost);
- jednoduše pochopitelný programovací jazyk;
- schopnost komunikace s okolními zařízeními;
- dostatečně rychlý cyklus zpracování.

1.1.4 Vykonávání řídicího programu

Program PLC je na rozdíl od programu standardního počítače vykonáván cyklicky. Výhodou tohoto cyklického vykonávání je, že se programátor nemusí starat o to, aby se program na jeho konci vrátil opět na začátek – tuto funkcionalitu zajišťuje systémový program.



Obrázek 4 – Cyklus PLC [7]

Po spuštění programu jsou nejprve provedeny režijní operace systému, aktualizace systémových a časových proměnných, naplánována je aktivace procesů pro další cyklus atd. Poté jsou sejmuty aktuální hodnoty fyzických vstupů, které jsou pro následující cyklus konzervovány jako obrazy vstupů. Následně se vykoná požadovaný uživatelský program a na závěr jsou na výstupy vyslány aktuálně vyčíslené hodnoty obrazů výstupů. Poté opět dojde k předání řízení systémovému programu a celý cyklus se opakuje [8].

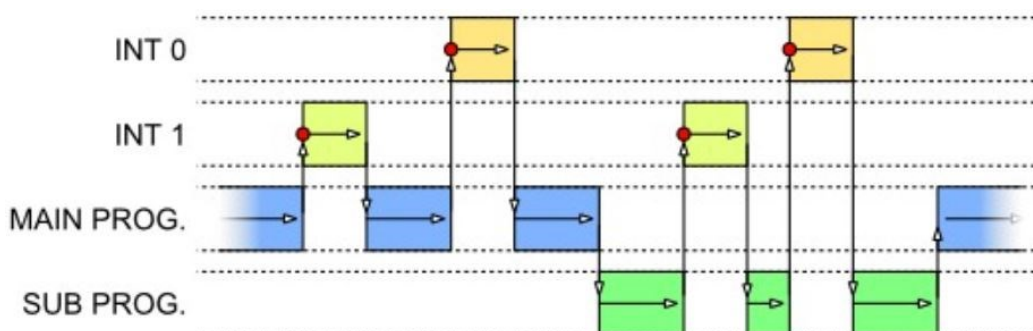
Pokud během cyklu (po přečtení vstupních hodnot) dojde ke změně těchto vstupních proměnných, program s nimi začne pracovat až na začátku následujícího cyklu. Tím je zajištěna synchronizace vstupních a výstupních hodnot během vykonávání programu, což vede k omezení chybovosti způsobené nevhodně se měnícími vstupními hodnotami.

Doba cyklu PLC je závislá na výpočetním výkonu PLC a komplexnosti uživatelského programu. S narůstajícím programem dochází k prodloužení doby cyklu. Avšak může nastat situace, kdy potřebujeme prioritně hlídat určitý signál a v případě jeho změny nebo překročení určitého časového limitu vykonávaného cyklu neprodleně vykonat nějakou operaci víceméně bez ohledu na to, v které části programu se aktuálně prováděný cyklus nachází. K tomu lze použít tzv. přerušení (Interrupt).

1.1.5 Přerušení řídicího programu

Přerušení řídicího programu vzniklo za účelem umožnění okamžitého zareagování řídicího systému na časově kritické okolnosti a stavy aplikace, zařízení či systému, které jsou řízeny PLC.

Přerušení nemůže CPU vykonat absolutně kdykoliv, jelikož by mohlo dojít ke zhroucení chodu celého PLC. Z tohoto důvodu se generují pouze požadavky na přerušení a samotné přerušení cyklu je řízeno systémem. Pokud tedy vznikne požadavek na přerušení, systém v nejbližším možném okamžiku povolí zpracování tohoto přerušení hlavního cyklu.



Obrázek 5 – Časový průběh přerušení [9]

Jednoduchý příklad přerušení programu je zobrazen na obrázku 15. Při přijetí požadavku přerušení dojde k přerušení zpracování hlavního programu anebo podprogramu a k vykonání funkce dané přerušením INT 0 nebo INT 2.

Těchto přerušení existuje několik typů:

- **Systémová:** Systémová přerušení jsou generována na základě vzniku systémové události, například chyby, požadavku na diagnostiku atd. Programátor poté může využít toto přerušení k vyvolání vhodné reakce.
- **Diagnostická:** Diagnostická přerušení jsou vyvolána, pokud systém zjistí nějakou provozní anomálii a je zapotřebí určité diagnostiky systému.
- **Hardwarová:** Hardwarová přerušení reagují na události procesu detekované hardwarem, například na změnu stavu signálu na digitálním vstupu PLC.
- **Cyklická:** Cyklická přerušení jsou generována v pevně daném pravidelném cyklu (periodě). U těchto přerušení obecně platí, že přerušení s kratší periodou mají vyšší prioritu.
- **Kalendářní:** Tato přerušení umožňují volání rutiny na základě kalendářního data. Tato přerušení mohou být dále vykonávána i cyklicky v intervalu minut, hodin, dnů, měsíců, let.
- **A další:** Výčet přerušení nemusí být konečný, jelikož v systémech různých výrobců mohou mít jiná označení a také jiné konkrétní funkce [9].

1.1.6 Programování PLC

Programovatelné automaty se pro řízení technologických procesů používají již řadu let. Během této doby prošly programovatelné automaty určitým vývojem, kdy došlo k navýšení jejich výkonu, ale také k rozšíření možností těchto automatů. Pro psaní uživatelských algoritmů se používalo široké spektrum programovacích technik a jazyků. S určitou nadsázkou lze říct, že každý výrobce využíval svůj vlastní programovací jazyk. To však velice komplikovalo život programátorům, údržbářům, servisním technikům a dalším pracovníkům využívajících programovatelné automaty, jelikož museli znát řadu programovacích jazyků [6].

Na základě požadavků sjednocení programovacích jazyků pro programovatelné automaty vznikl nový standard 61131. Skládá se z několika částí, v nichž je definována např. základní terminologie, elektronická a mechanická konstrukce, návody pro výběr a instalaci programovatelných automatů, ale také např. struktura PLC softwaru, jazyky a vykonávání programu.

I přestože tento standard sjednocuje formu programu PLC, nezabývá se již sjednocením vývojového prostředí. Ta jsou vždy unikátní, jelikož každý výrobce využívá svůj vlastní vývojový systém (Siemens – TIA portal, AB – Studio5000, Omron – Sysmac Studio, Beckhoff – TwinCAT atd.)

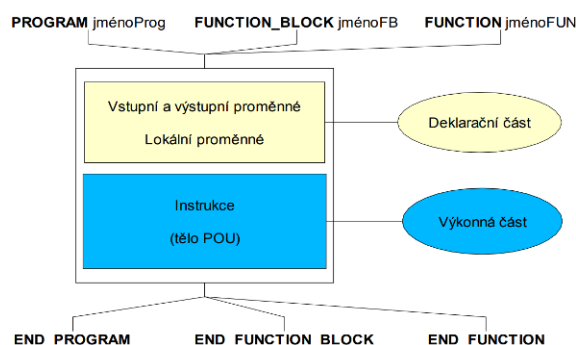
Při vytváření softwaru dle normy IEC EN 61131-3 je základním prvkem programová organizační jednotka (POU). Jedná se o nejmenší nezávislou jednotku uživatelského programu. Jednotlivé POU se mohou navzájem volat mezi sebou a při tom si vzájemně předávat potřebné parametry. Celkem existují tři typy POU: funkce, funkční blok a program.

Funkce je nejjednodušší typ programové organizační jednotky. Tento logický blok (podprogram) pro zpracování hodnot proměnných používá pouze odkazy na instanční data, to znamená, že funkce nemají vlastní paměťovou oblast. Tento typ logických bloků je vhodný pro programování často se opakujících algoritmů, například konverze datových typů, numerické funkce, funkce výběru, porovnávání, funkce s typy datum a čas atd.

Funkční blok je komplexnější programová organizační jednotka. Tento logický blok pro zpracování a uchování dat používá instanční datový blok, jenž staticky uchovává data, má tedy přiřazenu vlastní paměťovou oblast. Ta je poté přístupná nejen pro samotný funkční blok, ale také pro ostatní bloky celého programu. Typickým příkladem takového funkčního bloku jsou např. bistabilní prvky (RS klopné obvody), detekce náběžných a sestupných hran, časovače, čítače atd. [10].

Program je vrcholnou programovou jednotkou v programu vytvořeném uživatelem. POU typu program je znám jako hlavní program (main program). Programy během vykonávání volají funkce a funkční bloky, avšak funkce ani funkční bloky nemohou volat hlavní program. Centrální jednotka PLC může zpracovávat více takových programů.

Deklarace všech POU mají podobnou strukturu. Nejdříve deklarujeme jméno samotného POU, poté vstupní, výstupní a lokální proměnné. Dále následuje samotný kód programu dané POU jednotky [10].

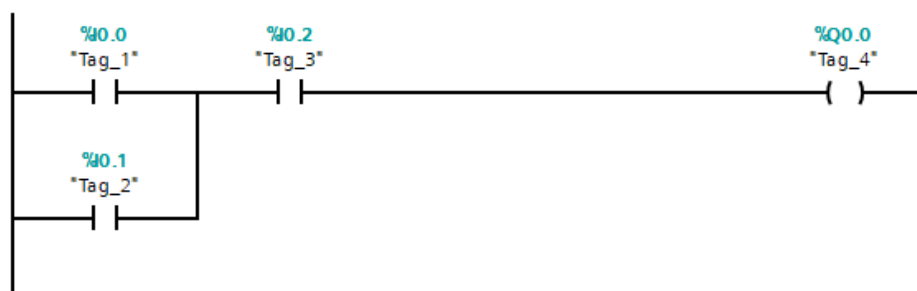


Obrázek 6 – Základní struktura POU [30]

Ve výše zmíněné normě jsou kodifikovány čtyři typy programovacích jazyků pro PLC – dva grafické (LD, FBD) a dva textové (IL, ST). Jako pátý bývá někdy uváděn programovací nástroj SFC (Sequential Function Chart), využívaný pro strukturovaný popis sekvenčních úloh (typicky Pick & Place manipulátory).

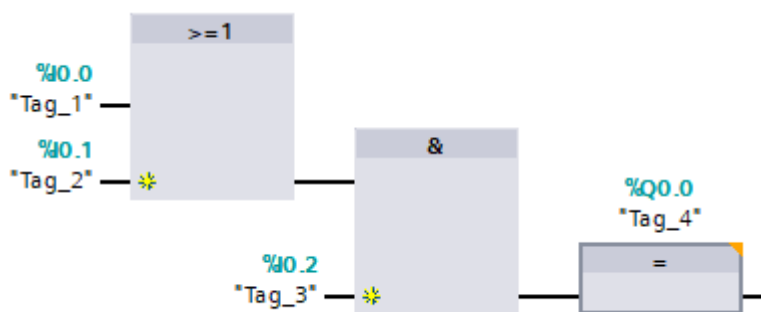
- **LD – Ladder Diagram:** V jazyku kontaktních schémat (LD, doslovně příčkových diagramů) má program formu kontaktního schématu a je obdobou liniového schématu v elektrotechnice. Symboly pro kontakty a cívky jsou zjednodušeny tak, aby mohly být vytvářeny semigraficky: spínací kontakty – dvojice svislých čar, cívky – dvojice závorek. Funkční bloky jsou reprezentovány pomocí obdélníkových značek.

Výhodou tohoto jazyka je, že v programu vytvořeném pomocí LD se dokáže zorientovat i personál, který neovládá vyšší programovací jazyky. Dalším benefitem tohoto jazyka je možnost zobrazení „vodivé cesty“ při online připojení k PLC. Toho lze využít např. při hledání závady na stroji [11,12].



Obrázek 7 – Jazyk kontaktních schémat [archiv autora]

- **FBD – Function Block Diagram:** Jazyk funkčního blokového diagramu (FBD) je dalším zástupcem skupiny grafických jazyků. Program obsahuje blokové reprezentace funkcí a funkčních bloků, které jsou propojeny spojnicemi. Výška bloku je uzpůsobena počtu vstupů a výstupů daného bloku.



Obrázek 8 – Jazyk funkčního blokového diagramu [archiv autora]

- **IL – Instruction list:** Prvním ze skupiny textových jazyků je tzv. program jazyka instrukcí (IL), který se skládá z textových zkratk několika základních instrukcí – mnemokódů. Jedná se o obdobu programovacího jazyka assembler. Tento způsob programování umožňuje nejlépe optimalizovat program z hlediska jeho rychlosti, avšak u složitějších aplikací je zápis poměrně složitý a nepřehledný [11].

1	OPN	"DB1"	DB1	0	DB1	
2	L	DBW2	DBW2	0	16#4D2	DB1
3	L	DBW4	DBW4	0	16#3333	DB1
4	+I			0	14341	OS=0,OV=0,A0=0,A1=1
5	T	"Tag_15"	MW4	0	14341	
6						
7	L	3.0	3.0	0	3.0	
8	T	"Tag_24"	MD10	0	3.0	
9	L	5.0	5.0	0	5.0	

Obrázek 9 – Jazyk instrukcí [archiv autora]

- **ST – Structured Text:** Jazyk strukturovaného textu (ST) je velmi výkonný textový jazyk, který vychází z programovacích jazyků typu C. Tento jazyk obsahuje všechny prvky moderního programovacího jazyka, a proto je ideální pro klasické programátory mikroprocesorů. Je vhodný pro vytváření složitých funkčních bloků a pro práci s daty, řetězci a databázemi [11].

```

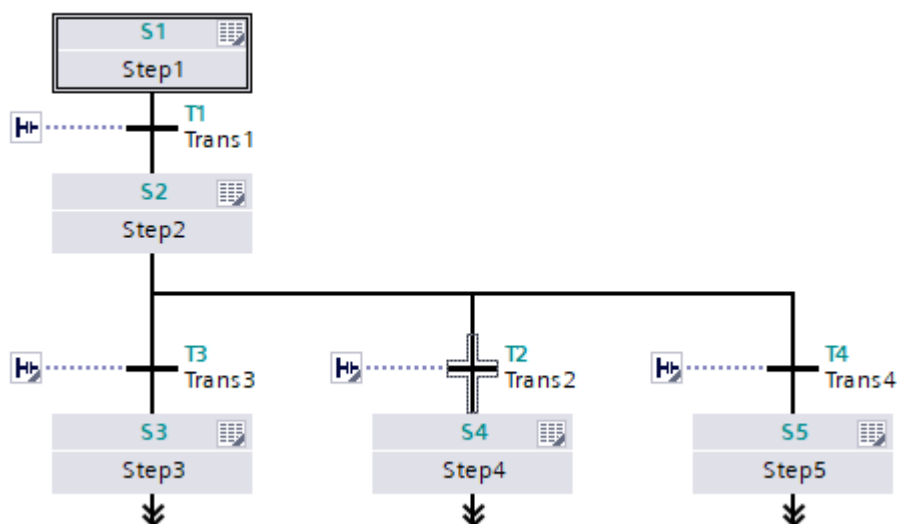
1 IF ("Tag_1" OR "Tag_2") AND "Tag_3" THEN
2     "Tag_4" := true;
3 ELSE
4     "Tag_4" := false;
5 END_IF;
6

```

Obrázek 10 – Jazyk strukturovaného textu [archiv autora]

- **SFC – Sequential Function Chart:** Tento programovací jazyk je reprezentován pomocí obdélníků, které tvoří přechodový graf. Jednotlivé obdélníky představují kroky (Step). Každý krok je časově oddělená situace, pro niž je charakteristické určité chování. K přechodu z aktuálního kroku do následujícího dojde pouze při splnění daných podmínek.

Tento režim je ideální pro definování posloupnosti volání jednotlivých částí programu (podprogramů) napsaných některým z výše uvedených programovacích režimů, tedy k vytváření páteří hlavní větve programu, odkud jsou volány jeho podprogramy [11].



Obrázek 11 – Ukázka programu pomocí SFC [archiv autora]

Každý z programovacích jazyků má své výhody, ale také samozřejmě nevýhody. Volba programovacího jazyka může být ovlivněna ať už zkušenostmi programátora, tak požadavky dodavatelské firmy, popř. požadavky zákazníka. Obdobně může být striktně doporučeno používání určitých knihoven funkcí a funkčních bloků. Například v automotive prostředí mají koncerny nastavený svůj vlastní standard pro tvorbu PLC programů (VW – VASS, DAIMLER – Integra atd.). Pokud chce programátor vytvářet programy pro takováto zařízení, musí striktně dodržovat daný standard.

1.2 Bezpečnost strojních zařízení

I přestože bezpečnost strojních zařízení není cílem této diplomové práce, je vhodné tuto problematiku zmínit, jelikož v dnešní moderní vyspělé společnosti je bezpečnost zařízení nejdůležitější částí každého stroje nebo systému, proto i při návrhu stroje zpracovaného během této diplomové práce bylo nutné dodržet určitá předepsaná pravidla.

Každé strojní zařízení musí být navrženo tak, aby splňovalo dané bezpečnostní předpisy. Jelikož se jedná o velice složitou část návrhu stroje, je vhodné se jí zabývat již od samého začátku a poté ji co nejvíce zahrnout do zpracování mechanické konstrukce. Rizika nebezpečí, která nelze odstranit nebo snížit změnou konstrukce, popř. použitím mechanických zábran a krytů, je nutné ošetřit elektronicky.

Bezpečnost strojních zařízení je všeobecně popsána v normě EN ISO 12100 „Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika“. V této normě je definován interaktivní proces posouzení rizika jednotlivých strojních zařízení v logicky na sebe navazujících krocích.

Posouzení rizika zahrnuje odhad a identifikaci všech rizik nebo rizikových situací, které mohou vést primárně ke zranění osob, popřípadě k poškození výrobku anebo stroje.

Veškerá strojní zařízení nejdříve projdou výše zmíněnou analýzou rizik, jejímž výstupem je požadovaná úroveň bezpečnosti stroje. Tyto úrovně jsou popsány v normách ČSN ISO 13849 a ČSN EN 62 061, jejichž základem jsou tyto parametry: závažnost možného poranění, četnost a doba trvání vystavení riziku a možnost vyvarování se nebezpečí. Kombinace těchto parametrů následně určuje požadovanou bezpečnostní úroveň.

Výstupem posouzení rizik dle normy ČSN ISO 13849 je tzv. „Performance Level“ (PLr), který popisuje rozsah snížení rizika, jehož má být dosaženo bezpečnostními částmi řídicího systému. Tato norma na rozdíl od ČSN EN 62 061 umožňuje širší použití, jelikož v sobě zahrnuje použití mechanických, hydraulických a pneumatických prvků.

Determination of the required PL (by risk graph)

The risk is estimated on the basis of identical risk parameters

Risk parameters

S = Severity of injury

- S1 = Slight (usually reversible) injury
- S2 = Severe (usually irreversible) injury, including death

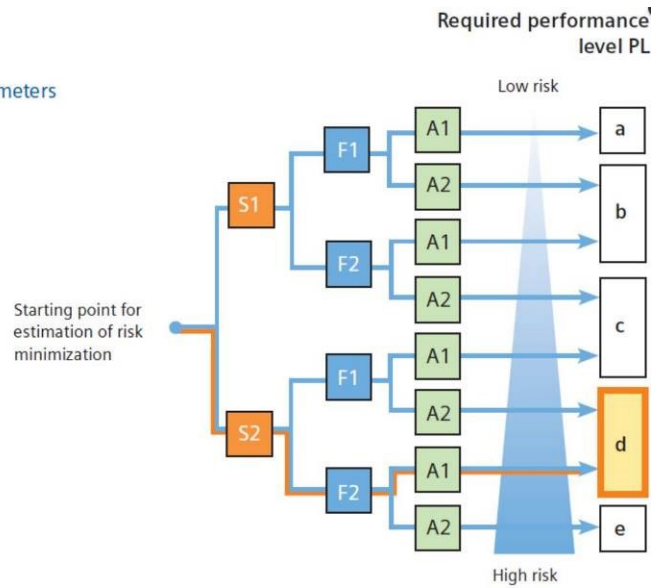
F = Frequency and/or duration of exposure to hazard

- F1 = Rare to often and/or short exposure to hazard
- F2 = Frequent to continuous and/or long exposure to hazard

P = Probability of avoiding or limiting harm

- P1 = Possible under certain conditions
- P2 = Hardly possible

a, b, c, d, e = targets of the safety-related performance level



Obrázek 12 – Výpočet PLr [12]

Druhá zmiňovaná norma stanovuje tzv. bezpečnostní hodnotu SIL, která je definována ve třech stupních a vyhodnocena pomocí těchto vstupních parametrů: rozsah škod, četnost a délka pobytu v nebezpečné oblasti a možnosti prevence. Navíc je zde zohledněna i pravděpodobnost výskytu nebezpečné situace [12].

Determination of the required SIL (by SIL assignment)

Frequency and/or duration of stay Fr		Occurrence probability of hazardous situation Pr		Prevention possibilities Av	
≤ 1 h	5	frequently	5		
> 1 h to ≤ 1 day	5	probable	4		
> 2 weeks to ≤ 1 year	4	possible	3	impossible	5
> 2 weeks to ≤ 1 year	3	rarely	2	possible	3
> 1 year	2	negligible	1	probable	1

Effects	Severity Se	Class CI = Fr + Pr + Av				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Death, loss of eye or arm	4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
Permanent, loss of fingers	3	Other measures			SIL 2	SIL 3
Reversible, medical treatment	2	Other measures			SIL 1	SIL 2
Reversible, first aid	1	Other measures			SIL 1	SIL 1

Example

Hazard	Se	Fr	Pr	Av	CI	Safety measures	Safe
Rotating spindle	3	5	4	3	12	Monitoring protective hood with required SIL 2 with SIL 2	Yes,

Obrázek 13 – Výpočet SIL [12]

Během konstruování stroje je zakázáno použít obě normy současně, i přestože do nich vstupují stejné proměnné – závažnost možného poranění, četnost a doba trvání vystavení nebezpečí a možnost prevence nebezpečí. Konstruktor si vždy musí vybrat odpovídající normu dle použitých technologií:

Tabulka 1 – Porovnání normy ČSN ISO 13 849 a ČSN EN 62 061 [archiv autora]

Technologie	ČSN ISO 13 849	ČSN EN 62 061
Hydraulika	Použitelná	Nelze použít
Pneumatika	Použitelná	Nelze použít
Mechanika	Použitelná	Nelze použít
Elektrika	Použitelná	Použitelná
Elektronika	Použitelná	Použitelná
Programovatelná elektronika	Použitelná	Použitelná

Na základě stanovené úrovně pro každou identifikovanou nebezpečnou část strojního zařízení vybere konstruktor vhodné zabezpečovací prvky. Jako příklad si uveďme např. lineární servopohon, který bude umístěn za pohyblivými servisními dveřmi. Dle výše zmíněných postupů byl stanoven Performace level d (PLd). K dosažení zabezpečení této úrovně je nutné použít bezpečnostní senzory ke kontrole uzavřených servisních dveří, které splňují úroveň PLd a vyšší.

Výše jsou zmíněny a popsány pouze základní normy, avšak při návrhu a konstrukci strojního zařízení je potřeba dodržet řadu norem a kritérií pro dosažení bezpečného zařízení.

Zařízení, které je předmětem této diplomové práce, bylo navrženo a zkonstruováno dle níže zmíněných norem a kritérií:

Tabulka 2 – Použité normy a kritéria [archiv autora]

NFPA79	Požadavky na elektrotechnické vybavení průmyslových strojů
UL 508A	Elektrotechnické provedení průmyslových rozvaděčů
2006/42/EG	Směrnice pro výrobu strojů
2014/30/EU	Směrnice EMV
EN ISO 12100	Bezpečnost strojních zařízení – všeobecné zásady pro konstrukci – posouzení rizik a snižování rizik
EN ISO 13857	Bezpečnost strojních zařízení – bezpečné vzdálenosti zabránění dosahu horními a dolními končetinami
EN ISO 13850	Bezpečnost strojních zařízení – CENTRAL STOP (nouzové zastavení) – zásady pro konstrukci
EN ISO 14120	Bezpečnost strojních zařízení – oddělitelná bezpečnostní ochranná zařízení
EN 60204-1	Bezpečnost strojních zařízení – elektrická zařízení strojů – část 1: všeobecné požadavky
EN ISO 13849-1	Bezpečnost strojních zařízení – bezpečnostní části řídicích systémů – část 1: všeobecné zásady pro konstrukci
EN 619	Kontinuální manipulační zařízení a systémy – Požadavky na bezpečnost a elektromagnetickou kompatibilitu na zařízení pro mechanickou manipulaci manipulačních jednotek

1.3 CAE software EPLAN

Pro zpracování výkresové dokumentace navrhovaného strojního zařízení použijeme CAE systém EPLAN od stejnojmenné německé společnosti. Jedná se o projekční nástroj zaměřený především na tvorbu dokumentace pro průmyslovou automatizaci.

Zkratka CAE (Computer Aided Engineering) v překladu počítačem podporované inženýrství v sobě skrývá softwarový nástroj, který jednoduché projekční nástroje rozšiřuje o další funkcionality, jako jsou např. automatické propojení, zástupné objekty, napojení na databázové systémy, automaticky generované kusovníky, navigátory kabelů a svorek, možnost generování tzv. map-file souboru, technologie maker, ať už jednotlivých dílů, popř. celých stránek atd.

Platforma EPLAN propojuje softwarová řešení specifická pro každý obor projektování – od předběžného plánování a přípravy projektů až po návrh rozvaděčů a kabelových svazků ve 3D formě. Z tohoto pohledu lze EPLAN platformu rozdělit na několik softwarových řešení:



Obrázek 14 – EPLAN platforma [13]

- EPLAN Cogineer;
- EPLAN Preplanning;
- EPLAN Fluid;
- EPLAN Electric P8;
- EPLAN Pro Panel;
- EPLAN ePulse;
- EPLAN Data Portal.

Základním pravidlem při zpracování technického projektu je přehledné strukturování výkresové dokumentace. Pravidla a doporučení pro zpracování dokumentace technických projektů jsou zmíněna v normách:

Tabulka 3 – Základní normy pro formální zpracování projektu [14]

ČSN EN 81346-1	Průmyslové systémy, instalace a zařízení a průmyslové produkty – Zásady strukturování a referenční označování – část 1: Základní pravidla
ČSN EN 81346-2	Průmyslové systémy, instalace a zařízení a průmyslové produkty – Zásady strukturování a referenční označování – část 2: Třídění předmětů a kódy tříd
ČSN EN 81714	Tvorba grafických značek používaných v technické dokumentaci produktů
ČSN EN 60617	Grafické značky pro schémata
ČSN EN 61355	Třídění a označování dokumentů pro průmyslové celky, systémy a zařízení – část 1: Pravidla a tabulky třídění
ČSN EN 61082	Zhotovování dokumentů používaných v elektrotechnice

Snadná navigace v rozsáhlém projektu je dána vhodným strukturováním a jednoduchou integrací do větších celků. Toto pravidlo platí nejen pro zpracování technické dokumentace, ale také například při tvorbě softwaru. Výhodou tohoto přístupu je, že modulární objekt lze při vhodném strukturování jednoduše upravit jako celek.

Začátku samotného projektování předchází mnoho jiných úkonů. V první řadě je nutné nastudovat danou aplikaci, popř. se seznámit s požadavky zadavatele/investora projektu. Dalším krokem je vytvoření detailního soupisu jednotlivých spotřebičů, které budou na projektu použity, jelikož výběr těchto spotřebičů ovlivňuje parametry celého zařízení. Obzvláště výkony hrají důležitou roli ve výběru rozvaděčových skříní, dimenzování vodičů, ochran atd.

Při vytvoření samotného Eplan projektu dojde k vygenerování základní struktury, která je definována v předem připravené šabloně. Díky tomuto postupu dochází k určité standardizaci všech projektů, což vede ke snadnější zastupitelnosti mezi jednotlivými konstruktéry a k rychlejší orientaci v projektu pro montážní techniky.

2 Praktická část

Praktickou část této diplomové práce si rozdělíme do čtyř částí. V první části se seznámíme s požadovanou funkcí stroje a námi vytvořeným konceptem. Ve druhé části se zaměříme na výběr vhodného hardwaru, zpracování dokumentace potřebné pro zapojení elektrických a pneumatických obvodů pomocí CAE systému Eplan P8 Electric a vytvoření materiálových kusovníků pro elektrickou část námi navrženého stroje. Ve třetí části vytvoříme řídicí software pro vybrané PLC a v poslední části navrhne vizualizaci pro jeho HMI panel.

2.1 Koncept stroje

2.1.1 Požadavky investora

Požadavkem investora je vytvoření periferního zařízení, které doplní robotickou buňku, jež se skládá ze šestiosého robota, dopravníku a vstříkovacího lisu.

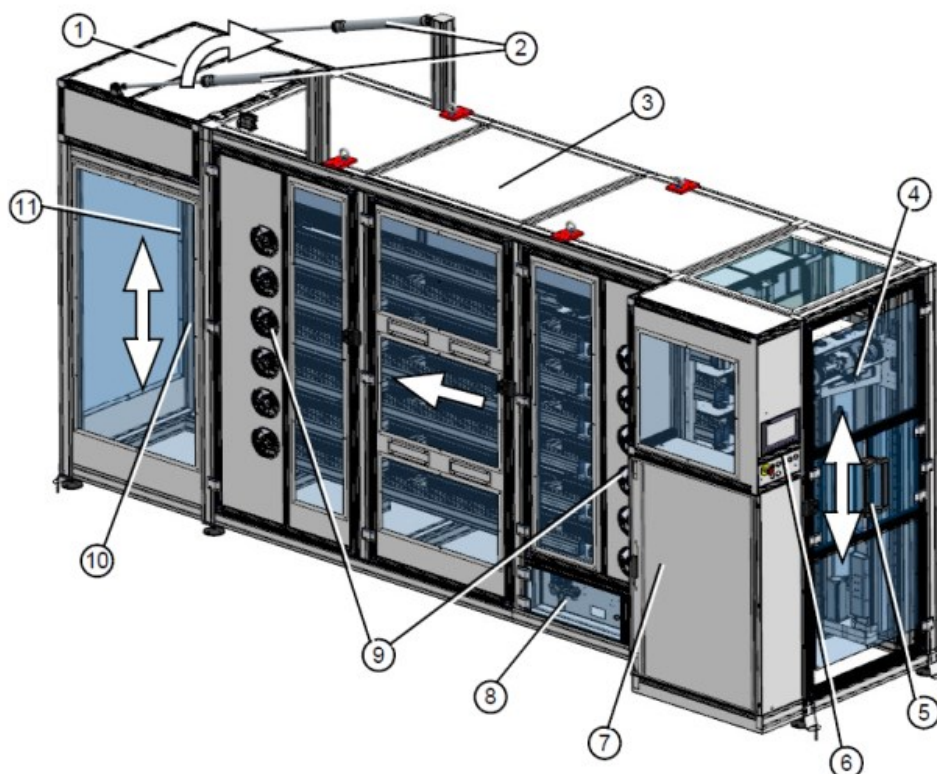
Funkci požadovaného zařízení lze popsat jako zásobníkový oběžný systém, ve kterém budou cyklovat kovové unášče, na něž robot odloží vystříkнутé plastové díly.

Po odložení dílů unášče odjíždí do chladicí pozice, kde jsou díly chlazeny na požadovanou teplotu (standardně 25 °C). Takto se postupně zaplňuje celý systém (70 unáščů x 4 díly). Po 6 hodinách chlazení daný unášče přejede do topného tunelu, kde dojde k opětovnému nahřátí dílů (standardně 70 °C). Doba ohřevu je přibližně 60 minut.

Po nahřátí dílů unášče opět odjíždí do pozice robota, kde robot odebere díly z prostoru periferie a opět je založí do vstříkovacího lisu, který dostříkne druhý materiálový komponent. Po dokončení zdvihu lisu vyjme robot hotové díly a odloží je na samostatný vyvážecí dopravník, který hotové díly vyveze z prostoru buňky k obsluze.

Stroj je určený pro připojení do napájecí sítě 230/400 V 50 Hz pomocí přívodní třífázové vidlice. Napájecí rozhraní bude připojeno do již připravené zásuvky umístěné na vstříkovacím lisu.

2.1.2 3D vizualizace navrženého stroje



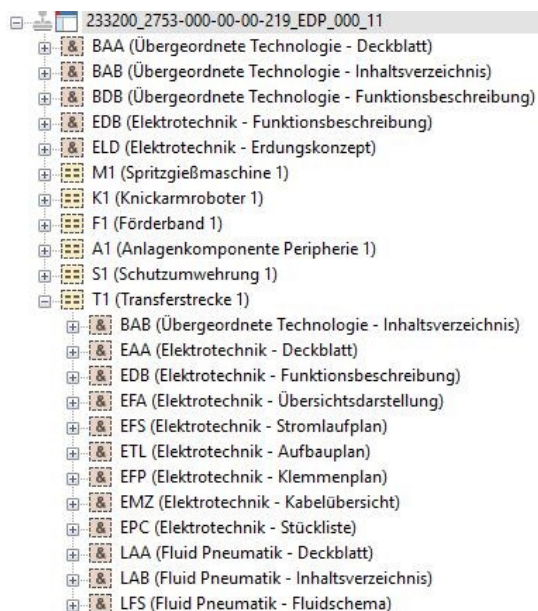
Obrázek 15 – 3D vizualizace stroje [archiv autora]

Tabulka 4 – Legenda 3D vizualizace [archiv autora]

1	Pneumatický kryt do prostoru robota
2	Písty pro ovládní pneumatického krytu
3	Topný tunel
4	Zdvihací jednotka 1
5	Servisní dveře
6	Ovládací HMI panel
7	Rozvaděč
8	Jednotka úpravy tlakového vzduchu
9	Ventilátory pro chlazení dílů
10	Servisní dveře
11	Zdvihací jednotka 2

2.2 Realizace hardwarové části

Na následujícím obrázku je struktura kompletního projektu, kde se nachází vstříkovací lis (M1), robot (K1), dopravník (F1), ionizační stanice (A1), bezpečnostní ohrazení robotické buňky (S1) a námi navržený transportní systém (T1).



Obrázek 16 – Struktura kompletního projektu v EPLAN P8 Electric [archiv autora]

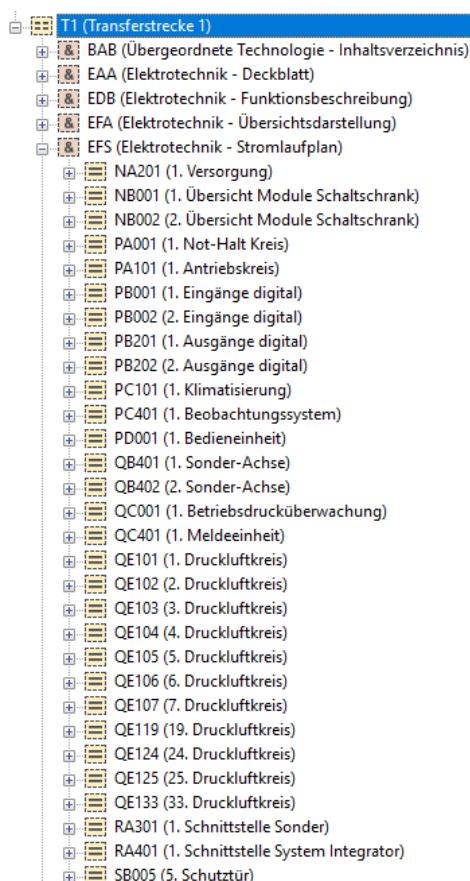
Popis struktury zobrazené na obr. 11:

- BAB – obsahuje přehled struktury elektrické části projektu a popisy jednotlivých stran;
- EAA – obsahuje titulní stranu elektrické části projektu;
- EDB – obsahuje popis a vysvětlivky šablony, na které je projekt vytvořen;
- EFA – obsahuje 2D náhled na stroj a umístění jednotlivých komponent;
- EFS – obsahuje veškerá elektrická zapojení projektu. Tato složka je dále rozdělena na několik podsložek (viz obr. 16);
- ETL – obsahuje náhled na rozvaděčovou skříň a rozmístění jednotlivých prvků v této skříni včetně legendy použitých prvků;
- EPL – obsahuje přehled zapojení svorkovnic;
- EMZ – obsahuje přehled použitých kabelů;
- EPC – obsahuje kusovník použitého materiálu. Z důvodu interního nařízení firmy je však kusovník zpracován v systému SAP;

- LAA – obsahuje titulní stranu pneumatické části projektu;
- LAB – obsahuje přehled struktury pneumatické části projektu a popisy jednotlivých stran;
- LFS – obsahuje samotný návrh pneumatického zapojení.

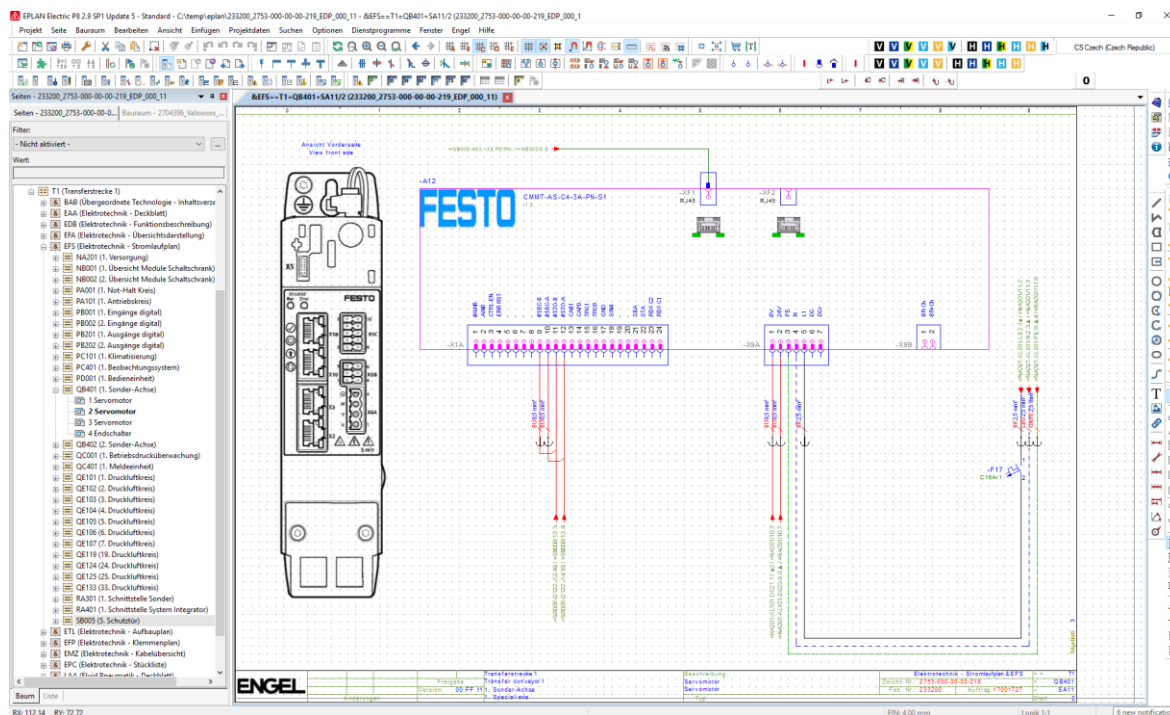
Elektrické schéma námi navrženého zařízení jsme rozdělili do struktury (viz obr. 16). Jelikož se část projektu T1 skládá celkem z 278 stran, nelze každou stranu projektu detailně popsat během této diplomové práce. Avšak během zpracování bylo nutné navrhnout kompletní elektroinstalaci celého stroje, která se skládá z návrhu řídicího systému, zapojení bezpečnostních okruhů dle problematiky popsané v kapitole 1.2, pohonů, signalizace, ventilů, rozhraní mezi periférií (T1) a robotem (K1) atd.

Vybrané elektrotechnické prvky použité při konstrukci stroje jsou detailněji popsány v kapitolách 2.2.2 až 2.2.5.



Obrázek 17 – Struktura námi vytvořeného projektu v EPLAN P8 Electric [archiv autora]

Z důvodu rozsáhlosti vytvořené dokumentace pro část transportního systému T1 bude tato dokumentace přiložena jako příloha diplomové práci.



Obrázek 18 - EPLAN – Návrh zapojení servo ovladače CMMT [archiv autora]

2.2.1 Řídicí systém

Řídicí systém tohoto zařízení můžeme rozdělit celkem na tři části, a to na samotný modulární programovatelný automat, vizualizační HMI panel a použitý bus coupler určený pro výměnu signálů mezi PLC a nadřazeným systémem. Funkci nadřazeného systému této aplikace obstarává připojený 6osý robot Easix.

Programovatelný automat PLC

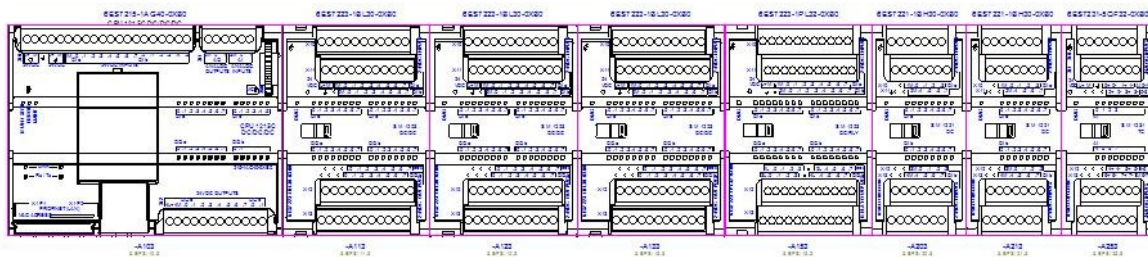
Jako řídicí systém jsme zvolili PLC značky Siemens řady S7 1200 s modelovým označením 1215C DC/DC/DC. Tento programovatelný automat nabízí pracovní paměť 125KB, 2× Profinet port, 14 integrovaných digitálních vstupů, 10 digitálních výstupů, 2 analogové vstupy a 2 analogové výstupy.

Centrální jednotku PLC bylo nutné rozšířit o další digitální vstupy a výstupy, k tomu jsme vybrali celkem 4 karty s modelovým označením SM1223. Každá z těchto karet obsahuje 16 digitálních vstupů a 16 digitálních výstupů, které je možné zatížit max 0,5 A.

Konfiguraci jsme dále doplnili 2 kartami s označením SM1221, které obsahují 16 digitálních vstupů.

Pro měření teploty jsme zvolili k tomu speciálně určenou kartu s označením SM1231 TC, která obsahuje 8 analogových vstupů uzpůsobených pro připojení termočlánků.

Pro ovládání ventilátoru jsme zvolili kartu SM1232, která obsahuje 4 analogové výstupy se 14bitovým rozlišením ± 10 V nebo 13bitovým rozlišením pro 0-20 mA/4-20 mA.



Obrázek 19 – Náhled na řídicí systém PLC [archiv autora]

Tabulka 5 – Přehled použitých modulů PLC [archiv autora]

Typ	Označení	ks
PLC	S7-1200 CPU1215C DC/DC/DC	1
DI/DO	6ES7223-1BL30-0XB0	4
DI	6ES7221-1BH32-0XB0	2
AI	6ES7231-5QF32-0XB0	1
AO	6ES7232-4HD32-0XB0	1

HMI panel

Pro vizualizaci potřebných dat a ovládání stroje jsme zvolili HMI panel od firmy Siemens s označením KTP900 Basic. Jedná se o 9" barevný TFT displej s dotykovou obrazovkou, který komunikuje s PLC pomocí Profinet rozhraní.

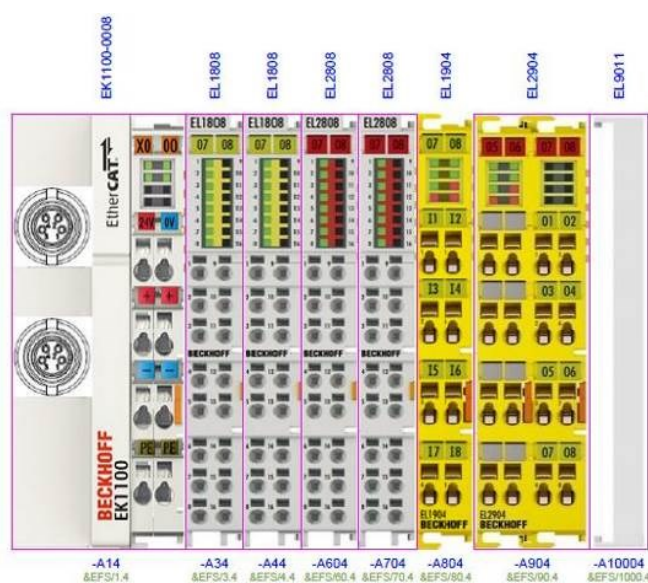


Obrázek 20 – HMI panel [15]

Bus Coupler

Jelikož je připojený robot postaven na jiném řídicím systému, který na rozdíl od našeho PLC, využívajícího komunikační sběrnici Profinet, využívá komunikační sběrnici EtherCAT, museli jsme navrhnout řešení pro výměnu signálů mezi těmito dvěma protokoly.

Naše řešení spočívá ve využití digitálního signálového rozhraní, které je kompletně umístěné v rozvaděči našeho stroje. K tomu jsme využili sestavy EtherCAT bus coupleru EK1100 a několika digitálně-vstupních a digitálně-výstupních karet.



Obrázek 21 – Beckhoff bus coupler [archiv autora]

Toto řešení nám umožní jednoduchou výměnu signálů mezi periférií a robotem. Jednoduše připojíme digitální výstupy z našeho PLC na digitální vstupy bus coupleru a digitální výstupy našeho PLC na digitální vstupy bus coupleru. Rozhraní mezi periferním zařízením a robotem je detailněji popsáno na následujícím obrázku.

Signály z bus coupleru jsou dále na robota komunikovány pomocí EtherCAT rozhraní.

	Funkce	Adresa		Funkce	Adresa
Periférie ↓	Peripherie Betriebsbereit		Periférie ↑	Robot Automatikbetrieb	
	Peripheral unit ready for operation	A34 DI:0		Robot automatic mode	A604 DO:0
	Teil ablegen erlaubt			Roboter außerhalb Peripheriebereich	
	Part deposit allowed	A34 DI:1		Robot outside of the peripheral unit are	A604 DO:1
	Teil aufnehmen erlaubt Gutteil			Roboter Traywechsel	
	Take-up part allowed Good part	A34 DI:2		Robot Tray change	A604 DO:2
	Teil aufnehmen erlaubt Ausschuss			Freigabe bereit zur Bauteilaufnahme	
	Take-up part allowed Rejects	A34 DI:3		Release ready for component pick-up	A604 DO:3
	Betrieb mit/ohne Roboter			Reserve	A604 DO:4
	Operation with/without robot	A34 DI:4		Reserve	A604 DO:5
Anforderung Kavität 00 aktiviert		Reserve	A604 DO:6		
Request Cavity 00 activated	A34 DI:5	Reserve	A604 DO:7		
Roboterposition Teileüberwachung 1 PG19		Robot ↑	Druckluft 112+ Ionisierung		
Robot position Part monitoring 1 PG19	A34 DI:6		Compressed air 112+ Ionization	A704 DO:0	
Roboterposition Teileüberwachung 2 PG20			Druckluft 112- Ionisierung		
Robot position Part monitoring 2 PG20	A34 DI:7		Compressed air 112- Ionization	A704 DO:1	
Teileüberwachung 1			Reserve	A704 DO:2	
Part monitoring 1	A44 DI:0		Reserve	A704 DO:3	
Teileüberwachung 2			Reserve	A704 DO:4	
Part monitoring 2	A44 DI:1		Reserve	A704 DO:5	
Teileüberwachung 3			Reserve	A704 DO:6	
Part monitoring 3	A44 DI:2		Reserve	A704 DO:7	
Teileüberwachung 4					
Part monitoring 4	A44 DI:3				
Reserve	A44 DI:4				
Reserve	A44 DI:5				
Reserve	A44 DI:6				
Reserve	A44 DI:7				

Obrázek 22 – Rozhraní periférie – robot

2.2.2 Senzorika

Funkce řídicího systému je založena na čtení vstupních dat a následném nastavení výstupů na základě programu uloženého v jeho paměti. Ke správnému čtení vstupních dat je nutné vybrat správná čtecí zařízení neboli senzory. Senzor je funkční prvek, který je v přímém kontaktu s měřeným prostředím. Senzor přivádí do řídicího systému informace o okolním prostředí, ať už se jedná např. o teplotu, tlak, přítomnost materiálu, vzdálenost atd.

V praxi se setkáme s různými typy senzorů založených na rozdílných fyzikálních, chemických nebo mechanických principech. Každý z těchto senzorů je primárně určený pro jiný typ aplikací a je úkolem konstruktéra, popř. aplikačního inženýra, aby zvolil právě to nejvhodnější řešení.

Z principu našeho stroje vyplývá, že budeme potřebovat několik typů senzorů. Celkem jsme zvolili 6 typů senzorů, proto si tuto část rozdělíme na 6 podkapitol, a to na optické senzory, indukční senzory, magnetické senzory, teplotní senzory, bezpečnostní senzory a čtečku čárových kódů.

Optické senzory

Optické senzory patří mezi nejpoužívanější typy senzorů pro kontrolu přítomnosti dílu v průmyslových aplikacích. Někdy se lze také setkat s názvy jako optoelektronické nebo fotoelektronické. Princip těchto senzorů je založen na přeměně elektrického proudu na elektromagnetické vlnění neboli světlo a naopak. K tomu využívají LED diody, popř. laserové diody jako vysílače a fotodiody nebo fototranzistory jako přijímače.

Výhodou těchto senzorů je poměrně velká spínací vzdálenost, odolnost vůči elektromagnetickému rušení, neustálé zlepšování pro použití při detekci transparentních materiálů a nadále klesající cena těchto senzorů. Největší nevýhodou je vysoká citlivost na znečištění, ať už senzoru samotného, nebo jeho odrazky [16].

Optické senzory, resp. reflexní světelné závory jsme zvolili od firmy Sick s typovým označením GL6-P4112. Tyto senzory mají dosah do 5 metrů a je nutné je instalovat naproti reflexnímu zrcátku, popř. speciální reflexní pásce. Tento typ senzoru obsahuje spínač, s jehož pomocí lze nastavit výstupní logiku NO/NC.



Obrázek 23 – GL6-P4112 [17]

Indukční senzory

Průmyslové indukční senzory jsou bezdotykové senzory primárně určené k měření vzdálenosti nebo k detekci přítomnosti elektricky vodivých materiálů. Fyzikální princip těchto senzorů je zjednodušeně založen na změně indukčnosti cívky instalované v těle senzoru při změně magnetické vodivosti jejího obvodu, která je způsobena přítomností elektricky vodivého materiálu.

Indukční čidla jsme zvolili pro snímání pozic jednotlivých kovových unašečů. Výhodou tohoto typu čidel jsou poměrně malé zástavbové rozměry, bezdotyková detekce, přesnost a nízká cena. Naopak nevýhodou může být zdlouhavé nastavení pozice senzoru a citlivost na kovové předměty v okolí senzoru.

Pro naši aplikaci jsme zvolili dva typy indukčních senzorů od společnosti Sick. První je senzor s typovým označením IME08-04NPSZT0S. Tyto senzory mají spínací vzdálenost do 4 mm a výstupní logika je typu NO.

Druhým typem je senzor s typovým označením IMB08-04NPSVT0S, určený pro instalaci do náročného prostředí. Tento typ senzoru jsme zvolili z důvodu umístění do blízkosti topných spirál.



Obrázek 24 – IME08-04NPSZT0S [18]

Magnetické senzory

Tento typ senzorů slouží obecně k bezdotykové detekci poloh. Oproti indukčním senzorům nabízejí delší spínací vzdálenosti při stejných nebo menších rozměrech a také možnost detekce objektů skrz nemagnetické materiály (hliník, umělé hmoty, dřevo atd.) [19].

My jsme tento typ senzoru použili pro kontrolu koncové pozice pneumatických válců. K tomu jsme opět vybrali senzory od společnosti Sick, a to s označením RZT7-03ZRS-KP0. Jedná se o magnetický senzor přizpůsobený k přímé montáži do T-drážky.



Obrázek 25 – RZT7-03ZRS-KP0 [20]

Teplotní senzory

Pro měření teploty dílů jsme zvolili kompaktní pyrometry od společnosti Micro-Epsilon s typovým označením CSTK-SF15-C15. Jedná se o bezdotykový teploměr s měřicím rozsahem $-40\text{ °C} / 400\text{ °C}$ a přesností $\pm 1,5\%$. Naměřená hodnota je přivedena do PLC v analogové hodnotě v rozsahu $0\text{--}5\text{ V}$ nebo $0\text{--}10\text{ V}$.

Bezpečnostní senzory

K ošetření nebezpečných míst na zařízení jsme využili bezpečnostní senzory od společnosti PILZ s označením PSEN CS4.1P. Jedná se o kódovaný RFID bezpečnostní spínač, který má 2 OSSD (Output Signal Switching Device) bezpečnostní výstupy. Sestava se skládá z vysílače a přijímače, jejichž spínací vzdálenost je 11 mm. Tento bezpečnostní spínač splňuje úroveň PLe.



Obrázek 26 – PILZ PSEN CS4.1P [21]

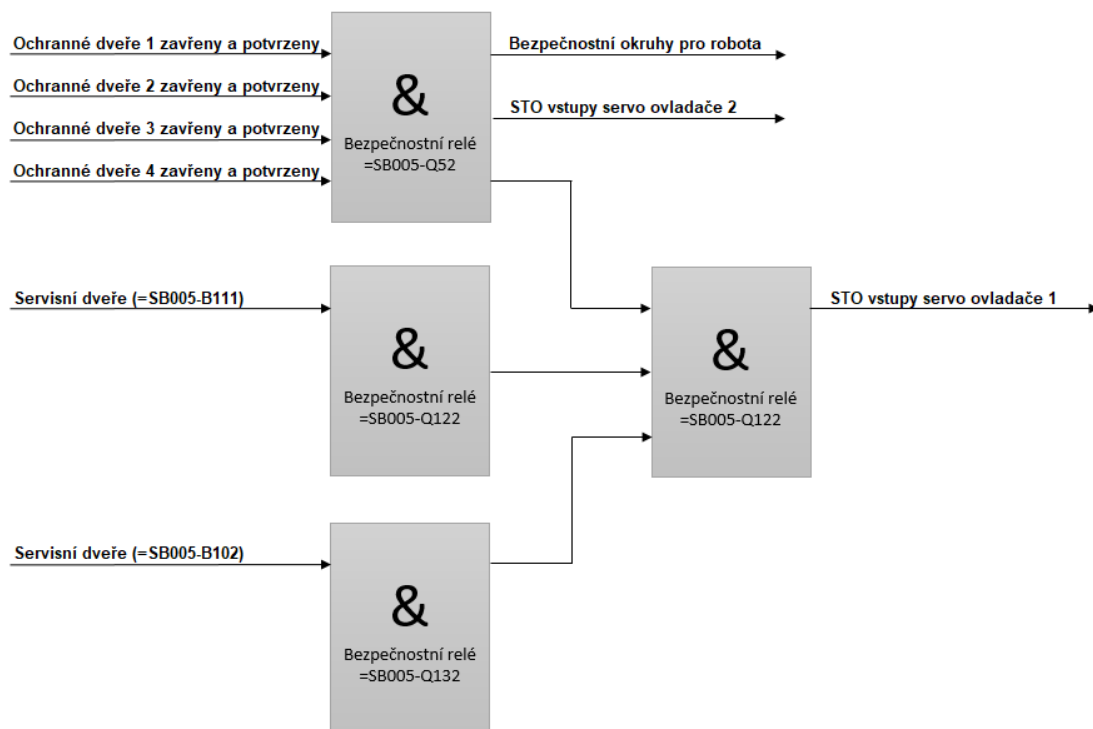
Druhým prvkem použitým k zabezpečení stroje je elektronický bezpečnostní spínač s označením TP3-2131A024MC1743 od německé společnosti EUCHNER. Tento spínač je určený pro jištění pohyblivých blokovacích krytů. K této funkci má na sobě aretační čep, s jehož pomocí je možné tyto pohyblivé kryty bezpečně uzamknout a monitorovat.



Obrázek 27 – EUCHNER TP3 [22]

Všechny zabezpečovací prvky jsou logicky propojeny a vyhodnoceny pomocí bezpečnostních relé od společnosti PILZ s označením PNOZ s5C.

Bezpečnostní okruhy jsou zapojeny dle následujícího diagramu (viz obr. 32). Funkce bezpečnostního zapojení je navržena tak, že pokud dojde k otevření jakýchkoli bezpečnostních dveří na boku stroje, jsou vybaveny bezpečnostními STO vstupy obou servo-ovladačů a zároveň bezpečnostním okruhem robota, čímž dojde ke kompletnímu zastavení stroje. Pokud však obsluha otevře pouze servisní dveře v pozici u obsluhy (např. z důvodu vložení unašeče), dojde k vybavení pouze bezpečnostních STO vstupů servo-ovladače osy umístěné v pozici obsluhy. Tím dojde k bezpečnému zastavení této osy, ale zbytek stroje je nadále aktivní.



Obrázek 28 – Logické zapojení bezpečnostních okruhů [archiv autora]

Čtečka čárových kódů

Pro čtení čárových kódů jsme vybrali čtečku od japonského výrobce, firmy Keyence, která patří mezi špičku ve svém oboru. Naše volba padla na model SR-1000W. Jedná se o čtečku s automatickým zaostřením, která je připojena do řídicího systému pomocí komunikačního protokolu Profinet.



Obrázek 29 – Čtečka Keyence SR-1000W [23]

2.2.3 Akční členy

Akčními členy – aktuátory jsou všechny prvky, které jsou určeny k využití zpracované informace. Jsou to tedy prvky na konci řetězce zpracování informace. Nastavují velikost akční veličiny, tj. realizují vstup do regulované soustavy. Jejich nejčastějšími představiteli jsou pohony a na ně navazující regulační orgány [24].

Úkolem akčního členu je transformace vstupní veličiny na jiný typ výstupní veličiny. Aktuátory jsou opakem senzorů, jejichž úkolem je naopak poskytování informací regulátoru.

Dle fyzikálního působení lze akční členy rozdělit na elektromechanické, hydraulické, pneumatické a speciální. Z důvodu rozsáhlosti této problematiky si dále popíšeme pouze námi použité akční členy, a to elektromechanické a pneumatické.

Elektromechanické

Na vstup těchto akčních členů je přivedena elektrická řídicí veličina, která je převedena na mechanickou akční veličinu (např. síla, točivý moment atd.). Zásadní výhodou těchto pohonů je oproti pneumatickým, popř. hydraulickým rychlá odezva na

řídící signál. Princip je založen na využití magnetických polí k převedení elektrické energie na mechanickou. Na našem zařízení jsme celkem použili 3 typy elektromechanických akčních členů.

Pro pohon řemenových dopravníků v horizontálním směru jsme zvolili asynchronní motory od německého výrobce SEW-EURODRIVE o výkonu 0,09 kW, které budou pracovat na síťové frekvenci 50 Hz. Tyto motory připojíme k řídicímu systému pomocí hybridních spouštěčů od společnosti PHOENIX-CONTACT, které nám poskytnou možnost bezpečného spouštění, ale také reverzaci a ochranu motorů proti přetížení.



Obrázek 30 – Hybridní spouštěč ELR H3-I-SC [25]

Z důvodu požadavku na poměrně přesné polohování ve vertikálním směru jsme museli zvolit jiný typ pohonu. Rozhodli jsme se pro využití servomotoru. Naše volba padla na synchronní servomotor EMMT-AS od společnosti FESTO, který bude připojen k lineárnímu vřetenovému pohonu ELGA-BS od stejného výrobce. Tento typ pohonu nám umožní polohování s přesností 0,1 mm.

Specifikace tohoto pohonu, založená na požadované nosnosti a dynamice, byla vytvořena pomocí softwaru Positioning Drives od společnosti Festo. Kompletní protokol s výpočty je vložen do přílohy této diplomové práce.



Axis:

ELGA-BS-KF-120-1500-0H-10P-M

Motor:

EMMT-AS-80-L-LS-RMB

Controller:

CMMT-AS-C4-3A-PN-S1

Obrázek 31 – Specifikace servo pohonu [archiv autora]

Posledním zástupcem ze skupiny elektromechanických akčních členů jsou ventilátory od společnosti EBM-PAPST s označením 6314/2HP. Jedná se o ventilátory se stejnosměrným napájením 24 V DC přizpůsobené pro řízení pomocí pulsně šířkové modulace (PWM).

Pneumatické

Pro uskutečnění pohybu v pneumatických systémech se jako pracovní médium používá stlačený plyn, nejčastěji vzduch. Akumulovaná energie ve stlačeném médiu umožňuje těmto mechanismům konat práci.

Výhodou těchto pohonů je poměrně nízká cena, vysoká dynamika, možnost použití ve výbušném prostředí, jednoduchá konstrukce a z toho plynoucí snadná montáž a jednodušší údržba. Avšak nevýhodou je poměrně náročná výroba stlačeného vzduchu, nižší přesnost, pomalejší odezva na regulační zásah a hlučnost při odvzdušnění pracovního prostoru.

Praktická část této diplomové práce zahrnuje i návrh a tvorbu dokumentace potřebné pro zapojení pneumatických okruhů. Toto pneumatické schéma bude přiloženo jako příloha, avšak k bezproblémovému pochopení je vhodné si popsat jednotlivé pneumatické prvky použité při realizaci pneumatických obvodů.

Pneumatické motory

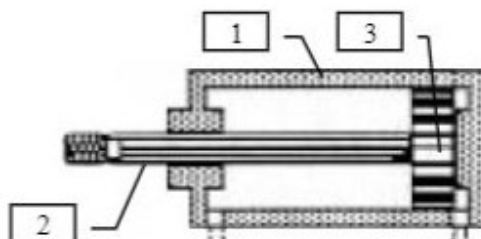
Pneumatický motor je zařízení, ve kterém se přivedená pneumatická energie tlakového vzduchu přeměňuje na jiný druh energie, zpravidla se jedná o mechanickou.

Podle základního konstrukčního provedení můžeme pneumotory rozdělit na:

- přímočaré jednočinné s vratnou pružinou;
- přímočaré dvojčinné brzděné v koncových polohách;
- přímočaré membránové.

Přímočarý pneumotor se skládá ze tří základních částí:

- tělesa válce;
- pístnice;
- pístu.



Obrázek 32 – Pneumatický motor [31]

U tohoto typu pneumatického motoru působí tlak vzduchu přímo na píst, jehož síla je přímo úměrná velikosti tlaku a ploše pístu [31].

$$F = p \cdot S \text{ [N, Pa, m}^2\text{]} \quad (1)$$

Reálná síla pístu zahrnuje ztráty způsobené třením a také sílu pružiny působící proti pohybu pístu u jednočinných motorů.

Tabulka 6 – Schematické značky použitých pneumatických pohonů [archiv autora]

Schem.značka	Popis
	Jednočinný pneumatický válec (návrat do výchozí polohy pomocí pružiny)
	Dvočinný pneumatický válec
	Dvočinný pneumatický válec (s nastavitelným tlumením v krajních polohách)

Pneumatické rozvaděče

Rozvaděče jsou zařízení určená pro řízení proudícího tlakového vzduchu. Tato zařízení jsou zobrazována jako obdélníky složené z několika čtverců. Počet čtverců udává počet funkčních poloh. Rozvaděče jsou značeny ve formátu X/Y, kde X – je počet přípoju a Y počet funkčních stavů.

Čáry uvnitř rozvaděče popisují propojení jednotlivých přípojí. Směr šipky udává směr průtoku vzduchu rozvaděčem. Příčná čára znamená uzavření rozvaděče.

Rozvaděče jsou ve schématu zakresleny v základní poloze. Na horní straně rozvaděče jsou připojeny pracovní signály (hadice připojené na ovládací pneumotor) a na spodní stranu jsou přivedeny zdroje a odfuky. Na kraje rozvaděčů se připojují řídicí signály, jež mohou být mechanické (pružina), elektrické (elektromagnet) a tlakové. V naší aplikaci jsou všechny rozvaděče ovládány pomocí elektromagnetů (viz tab. 7).

Tabulka 7 – Schematické značky použitých pneumatických ventilů [archiv autora]

Schem.značka	Popis
	5/2 elektromagnetický ventil bistabilní
	5/3 elektromagnetický ventil (odvětrávaná střední poloha)

Pneumatické pohony jsou využity pro zastavování unášecích desek na řemenových dopravnících, zdvihu desky v pozici robota a otevírání horního krytu stroje. Zařízení je vybaveno vlastní úpravou vzduchu, jež zamezuje vniknutí nečistot do vnitřního okruhu stroje, monitorování přítomnosti tlaku, nastavení požadovaného tlaku, popř. uzavření hlavního přívodu vzduchu.

Zařízení máme rozdělené celkem do 11 pneumatických okruhů ovládaných pomocí elektromagnetických ventilů. Na základě funkcí jednotlivých pístů jsme na zařízení nainstalovali $10 \times 5/2$ a $1 \times 5/3$ ventil, kde první číslo před lomítkem značí počet tzv. cest. Do tohoto čísla se započítávají všechny výstupy, odfuky a přívody ventilu. Druhé číslo značí počet pracovních poloh, tzn. že ventil označený jako 5/3 je pěticestný, třípolohový.

V praxi lze toto využít např. pro bezpečné ovládání pneumatického akčního členu. Pokud budeme ovládat např. pneumatický zdvih a použijeme ventil 5/2 (dvě pracovní polohy) a dojde k výpadku napájení, popř. aktivaci nouzového zastavení (ztráta spínaného napětí), dojde k samovolnému pohybu zdvihu vlivem potenciální energie.

Použijeme-li však ventil 5/3 s uzavřenou střední polohou, při ztrátě napájení dojde k přepnutí ventilu do této střední uzavřené polohy a zdvih zůstane v aktuální poloze.

Pomocí pneumatických okruhů ovládáme několik typů pístů (viz tab. 6).

Tabulka 8 – Přehled použitých ventilů [archiv autora]

Výrobce	Obj. číslo	Označení	Typ	Funkce	Zdvih [mm]	Kusy
Festo	576079	DFSP-20-15-PS-PA	Jednočinný	Stopovací	15	12
Festo	576086	DFSP-20-20-DF-PA	Dvojčinný	Stopovací	20	2
Festo	35194	DSNU-25-500-PPV-A	Dvojčinný	Zdvihací	500	2
Festo	170920	DFM-20-80-P-A-KF	Dvojčinný	Oddělovací	80	2
Festo	170908	DFM-16-20-P-A-KF	Dvojčinný	Centrovací	20	1

2.2.4 Zbývající elektroinstalace

V této podkapitole si popíšeme veškerou zbývající elektroinstalaci, jako je výběr vhodné rozvaděčové skříně, napájecího zdroje, jističů a proudových chráničů, relé, ale také zapojení topné spirály a samozřejmě výběr vhodných vodičů.

- **Rozvaděčová skříň**

Rozvaděčovou skříň jsme vybrali od německé společnosti RITTAL. Naše volba padla na skříň AX 1280.000. Jedná se o kompaktní rozvaděčovou skříň z ocelového plechu o rozměrech 800 × 1200 × 300 mm. Tato skříň nabízí vnitřní montážní prostor o rozměrech 745 × 1175 mm a stupeň krytí IP66.

- **Napájecí zdroj**

Před výběrem vhodného napájecího zdroje bylo nejdříve nutné spočítat celkovou spotřebu zařízení v automatickém provozu. Po sečtení dílčích spotřeb všech prvků nainstalovaných na zařízení a započtení nutné rezervy (viz tab. 9) jsme vybrali napájecí zdroj od společnosti SIEMENS s označením SITOP PSU300S. Jedná se o 960W stabilizovaný zdroj, který je schopný na výstupní straně dodávat až 40 A při 24 V DC.

Tabulka 9 – Spotřeba dílčích prvků při napětí 24 V DC [archiv autora]

Prvky	Spotřeba [mA]
Senzorika	750
Čtečka 2D kódů	1400
Ventilátory pro chlazení dílů	12600
Ovladače servo motorů	4000
Motorové spouštěče	405
Bezpečnostní relé	600
Ventily	1054
Řízení	5240
Ventilátory rozvaděčové skříně	400
Celkem	26449

- **Jističe a proudové chrániče**

Každé zařízení je konstruováno a provozováno za normálních provozních podmínek, jimž odpovídají jmenovité hodnoty jednotlivých parametrů. Avšak z nejrůznějších příčin může dojít k poruše elektrického zařízení. Vzniklý poruchový stav se ve většině případů projeví zvýšeným proudem procházejícím zařízením, tj. proudem vyšším, než je jeho jmenovitá hodnota neboli nadproudem. Pokud se velikost nadproudu pohybuje blízko jmenovité hodnoty, lze mluvit pouze o přetížení (tento stav nemusí být vždy brán jako poruchový – např. výše zmíněný zdroj je schopný pracovat až 5 s při hodnotě 150 % jmenovitého výkonu).

Pokud však nadproud dosahuje velkých hodnot, označujeme tuto poruchu jako zkrat. Účinky všech těchto nadproudů se projevují zvýšeným oteplením, popř. mechanickým namáháním částí elektrického zařízení. Je tedy zřejmé, že elektrická zařízení je potřeba proti těmto nadproudům účinně chránit. Tato ochrana obecně spočívá v odpojení chráněného zařízení od přívodu elektrického proudu dříve, než dojde k jeho poškození vlivem nadměrného oteplení nebo mechanického namáhání.

Tato ochrana je obecně známa pod pojmem jištění a využívá zařízení, která se nazývají jističe. Na tomto zařízení jsme použili několik typů jističů (viz tab. 9).

Z důvodu instalace jednofázové servisní zásuvky jsme její zapojení doplnili o proudový chránič společnosti Eaton o citlivosti unikajícího proudu 30 mA.

Proudové hodnoty jednotlivých ochranných prvků byly určovány dle doporučení výrobce komponentů, které jsou pomocí těchto prvků jištěny.

Tabulka 10 – Přehled ochranných prvků [archiv autora]

p. č.	typ	výrobce	obj. číslo	počet pólů	jmenovitý proud [A]	jmenovité napětí [V]	charakteristika
1	jistič	EATON	278873	3	16	400	C
2	jistič	EATON	278760	2	16	400	C
3	jistič	EATON	278867	3	6	400	C
4	jistič	EATON	278561	1	16	230	C
5	jistič	EATON	278553	1	4	230	C
6	pojistka	WÖHLER	31276		32	690	
7	polovodičová pojistka	SIBA	50 179 06.16		11	1000	
8	proudový chránič	EATON	279176		16	230	

- **Relé**

Na námi navrženém zařízení bylo nutné použít několik typů reléových modulů. Pro přehlednost si rozdělme tyto moduly do tří funkčních skupin.

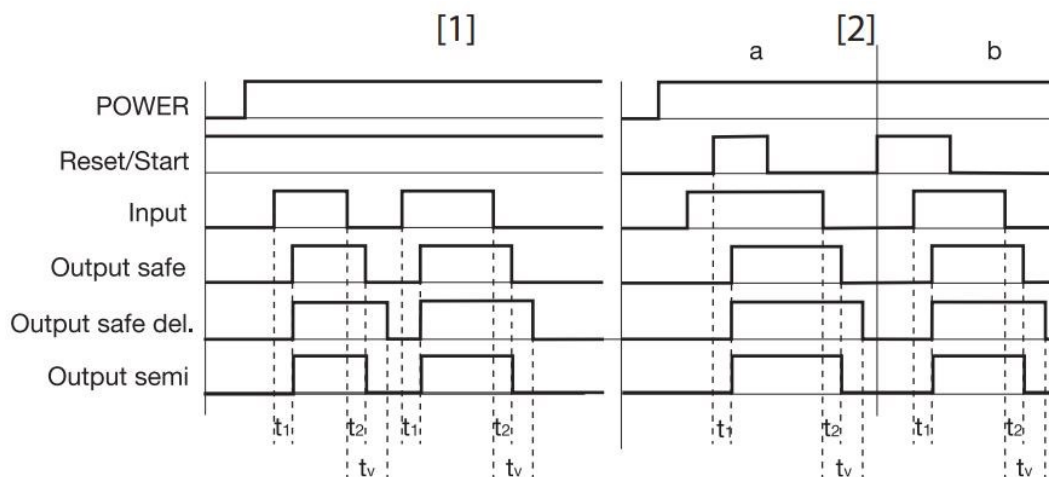
Do první skupiny spadají napájecí reléové moduly od společnosti PHOENIX-CONTACT s označením 2903342. Tento předem kompletovaný modul se skládá z patice relé, odrušovacího modulu, svorkovnicové základny a 1 výkonového přepínacího kontaktu, s jehož pomocí je možné spínat až 11 A při 250 V AC/DC. Tento reléový modul je připraven pro případné ovládání klimatizační jednotky pomocí digitálního výstupu PLC jednotky. Tato jednotka zatím není instalována.



Obrázek 33 – Reléový modul Phoenix Contact [26]

Do druhé skupiny patří reléové moduly od výrobce CARLO GAVAZZI s označením RM1A48D50S18. Jedná se o polovodičové relé, které nám umožňuje rychlé spínání až 50 A. Tento modul jsme využili pro spínání čtyř 2000 W topných spirál, které budou ovládány pomocí PID regulátoru zabudovaného v PLC jednotce.

Do třetí skupiny použitých reléových modulů patří bezpečnostní relé s označením PNOZ s 5C od německé společnosti PILZ. Tato zařízení se používají jako časová relé pro kontrolu nouzového zastavení, ochranných dveří nebo světelných mříží. Vstupní stranu tohoto relé je možné zapojit jak dvoukanálově, tak jednocanálově. Na výstupní straně najdeme 2 NO a 2 NOt kontakty ($t = 0,04 - 300$ s). Pomocí těchto relé vyhodnocujeme okruhy nouzového zastavení a veškeré bezpečnostní senzory včetně bezpečnostního okruhu připojeného robota. Funkce zpožděných výstupů je také použita z důvodu správného časování signálů pro ovladače servo pohonů. Časový diagram sledu těchto signálů lze nalézt v dokumentaci příslušného ovladače.



Obrázek 34 – Diagram PNOZ relé [27]

• Vodiče

Při výběru vhodných vodičů jsme museli brát zřetel na několik parametrů. Každý vodič musí být navržen tak, aby byl bez jakéhokoliv problému schopný dodat požadované množství energie do odběrných míst. Z tohoto důvodu je nutné klást důraz na následující body:

- mechanickou pevnost vodičů;
- maximální povolený úbytek napětí;
- hospodárné průřezy vodičů;
- odolnost vodičů vůči tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů.

Při dimenzování vodičů z hlediska mechanické pevnosti musíme brát zřetel na dané použití vodiče v aplikaci. Průřezy vodičů musí být zvoleny tak, aby jejich mechanické pevnosti snesly namáhání, které může nastat při manipulaci během montáže a provozu zařízení. Např. pro přívod, který je uložený v energetickém řetězu, zvolíme přívodní kabel s jinými parametry než pro statickou část stroje.

Průchodem elektrického proudu vodičem dochází vlivem impedance k úbytku napětí a tím k poklesu napětí na napájeném spotřebiči. Pokles napětí může nežádoucím způsobem ovlivnit funkci spotřebiče a toho je nutné se danými opatřeními vyvarovat. Dovolené úbytky napětí pro dané druhy rozvodů jsou zmíněné v normě ČSN EN 50160–3.

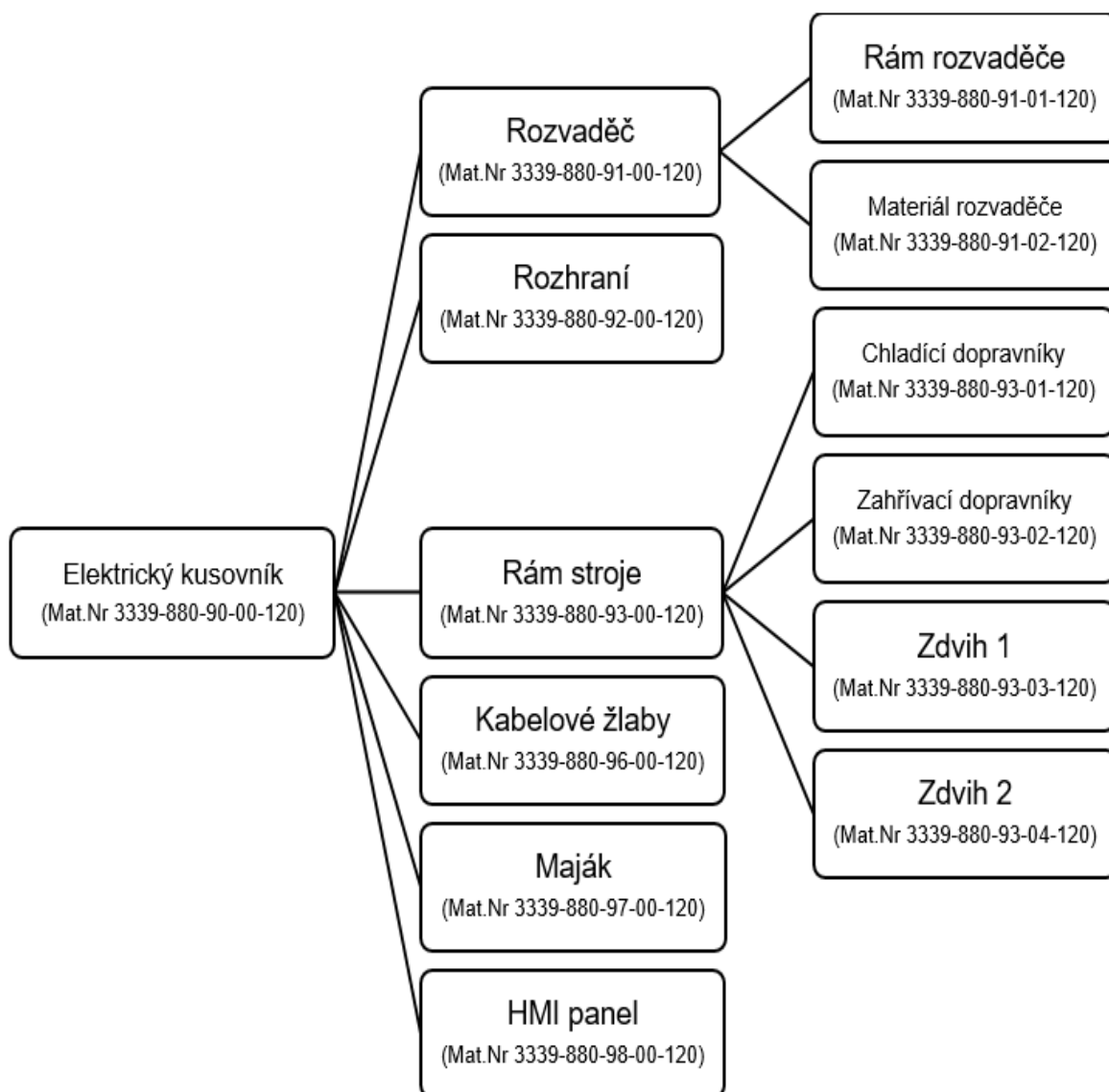
Dimenzování vodičů z hlediska účinku zkratových proudů je další zásadou při volbě průřezu vodičů. Ke zkratům dochází např. při průrazu izolace nesprávnou manipulací, nevyhovujícím dimenzováním atd. Při zkratu dojde díky zapojeným ochranným jisticím prvkům k odpojení ve velmi krátkém časovém úseku, ale ani toto rychlé odpojení nezabrání tomu, že v prvních momentech zkratu obvodem tečou proudy mnohonásobně vyšších hodnot než jmenovitých.

Tabulka 11 – Přehled barevného značení použitých vodičů [archiv autora]

Fázový vodič	černá
Pracovní vodič (N)	světle modrá
Zemnicí vodič (PE)	zeleno-žlutá
Řídicí obvod stejnosm. napětí	tmavě modrá

Veškerý elektroinstalační materiál je vložen do tzv. materiálového kusovníku, který je systémově provázán s daným projektem. Celkový materiálový kusovník je z důvodu přehlednosti rozdělen do několika podsestav.

Na následujícím obrázku je znázorněna struktura námi vytvořeného materiálového kusovníku pro elektromechanickou část stroje.



Obrázek 35 – Struktura kusovníku [archiv autora]

Kompletní materiálový kusovník včetně mechanických komponent je součástí přílohy této diplomové práce.

2.3 Projekt PLC

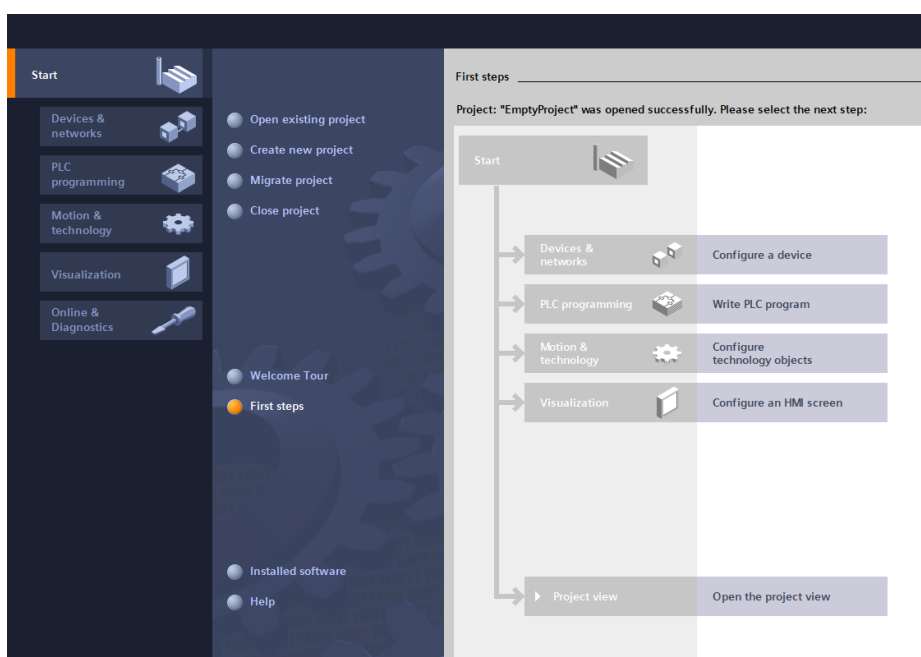
2.3.1 Vývojové prostředí

Společnost Siemens používá inženýrský softwarový systém s názvem Totally Integrated Automation Portal, zkráceně TIA Portal. V něm jsou ve společném softwarovém prostředí integrovány veškeré nástroje potřebné k projektování

a konfigurování řídicích systémů, operátorských rozhraní pro strojní celky i dispečerské systémy, komunikačních sítí a elektrických pohonů. Tím je dosaženo nejen rychlejší tvorby aplikačních programů, ale také zajištění konzistence dat v celém automatizačním projektu a transparentnosti jeho struktury, kterou lze snadno měnit či doplňovat a která usnadňuje následnou diagnostiku, údržbu a servis automatizační techniky v běžném provozu [28].

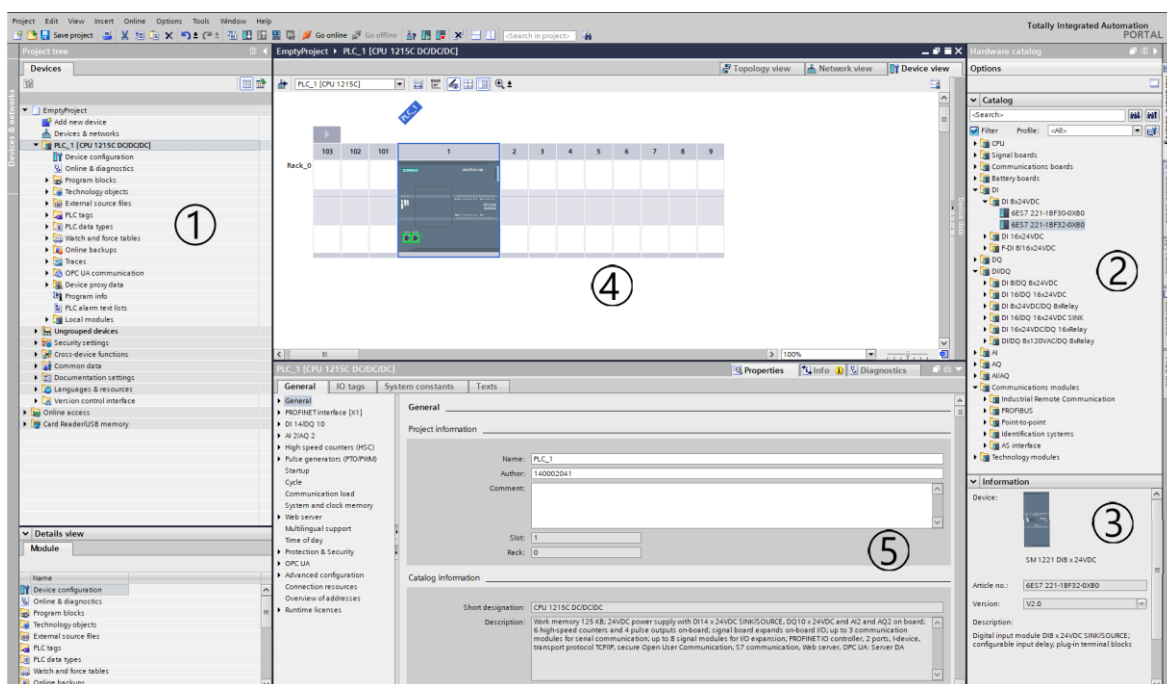
2.3.2 Tvorba HW konfigurace

Po vytvoření nového projektu se nám zobrazí tato základní obrazovka, kde máme na výběr několik možností, avšak prvním krokem po založení projektu je konfigurace požadovaného hardwaru. K té se dostaneme po kliknutí na záložku „Configure a device“.



Obrázek 36 – TIA Portal – Založení projektu [archiv autora]

Následně nás TIA Portal intuitivně provede výběrem požadovaného PLC. Po vložení kontroléru se nám zobrazí následující obrazovka:

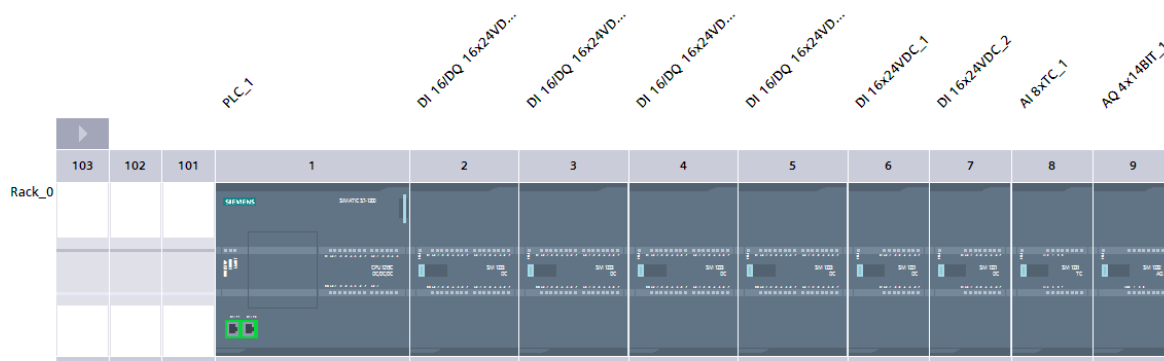


Obrázek 37 – TIA Portal – Device view [archiv autora]

Na levé straně nalezneme navigační strom celého projektu (1), kde je možné se přepínat mezi programovými bloky, technologickými objekty, PLC tagy (proměnnými), tracy atd.

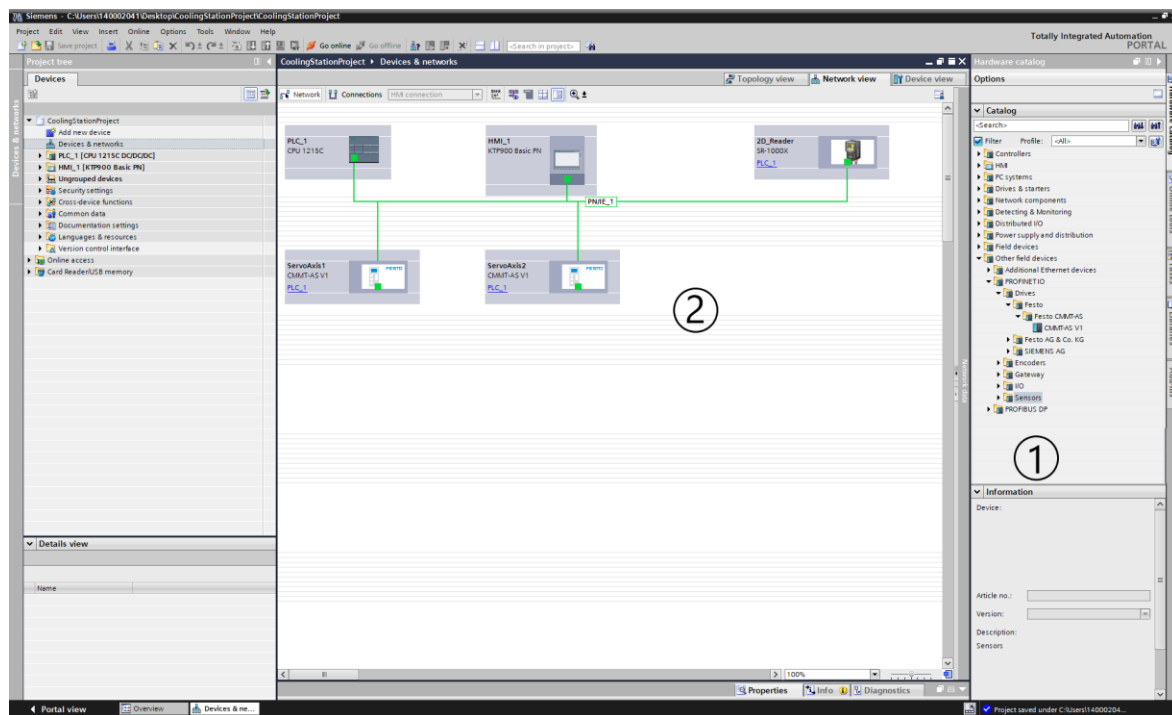
Na pravé straně nalezneme strom standardních hardwarových prvků, z nichž je možné poskládat řídicí systém PLC (2). Pod tímto stromem najdeme detailnější popis jednotlivých prvků (3).

Uprostřed obrazovky je umístěn náhled na aktuálně konfigurovaný řídicí systém (4) a pod ním se nachází konfigurační okno aktuálně označeného prvku řídicího systému (5), s jehož pomocí je možné konfigurovat daný prvek. Např. u centrální jednotky PLC lze konfigurovat IP adresy, adresy jednotlivých IO, webserver, HSC, OPC UA, systémové bity atd.



Obrázek 38 – TIA portal – Hardwarová konfigurace [archiv autora]

Po vytvoření a nakonfigurování samotného řídicího systému bylo nutné vytvořit hardwarovou konfiguraci kompletního stroje. V ní nalezneme veškeré prvky zařízení, které komunikují s řídicím systémem pomocí komunikačního protokolu Profinet. Do této nabídky se dostaneme kliknutím na záložku „Network view“ v pravém horním rohu.



Obrázek 39 – TIA portal – Network view [archiv autora]

Na pravé straně této obrazovky nalezneme katalog zařízení, s nimiž je možné komunikovat pomocí Profinet rozhraní (1). Standardně v tomto seznamu nenalezneme zařízení tzv. třetích stran – např. Keyence, Festo, SMC, Sick atd. Tato zařízení bylo nutné nejdříve do TIA Portalu nainportovat pomocí tzv. popisových souborů GSDML, které lze stáhnout na stránkách výrobce daného zařízení.

Po naimportování GSDML souborů Festo kontroléru CMMT-AS a Keyence čtečky SR-1000X lze toto zařízení vložit již standardním postupem „drag and drop“ do celkové topologie projektu (2). Tímto způsobem jsme do projektu vložili 2× kontrolér CMMT-AS a 1× čtečku SR-1000X, které jsme následně zaintegrovali do Profinet podsítě řídicího systému.

2.3.3 Tvorba PLC tags

Pod pojmem tag si lze představit symbolickou proměnnou určitého datového typu, která reprezentuje digitální vstup (DI), analogový vstup (AI), digitální výstup (DO), analogový výstup (AO), ale také paměťové proměnné. V projektu můžeme definovat několik typů datových proměnných, ty mohou být např. typu bool, word, int, char atd. Popis těchto datových typů včetně jejich příkladů použití lze nalézt v nápovědě TIA Portalu:

Data type	Bit size	Number type	Number range	Constant examples	Address examples
Bool	1	Boolean	FALSE or TRUE	TRUE, 1,	I1.0
		Binary	0 or 1	0, 2#0	Q0.1
		Octal	8#0 or 8#1	8#1	M50.7
		Hexadecimal	16#0 or 16#1	16#1	DB1.DBX2.3 Tag_name
Byte	8	Binary	2#0 to 2#11111111	2#00001111	IB2
		Unsigned integer	0 to 255	15	MB10
		Octal	8#0 to 8#377	8#17	DB1.DBB4
		Hexadecimal	B#16#0 to B#16#FF	B#16#F, 16#F	Tag_name
Word	16	Binary	2#0 to 2#1111111111111111	2#1111000011110000	MW10
		Unsigned integer	0 to 65535	61680	DB1.DBW2
		Octal	8#0 to 8#177777	8#170360	Tag_name
		Hexadecimal	W#16#0 to W#16#FFFF, 16#0 to 16#FFFF	W#16#F0F0, 16#F0F0	
DWord	32	Binary	2#0 to 2#11111111111111111111111111111111	2#111100001111111100 001111	MD10
		Unsigned integer	0 to 4294967295	15793935	DB1.DBD8 Tag_name

Obrázek 40 – Příklad bitových datových typů [29]

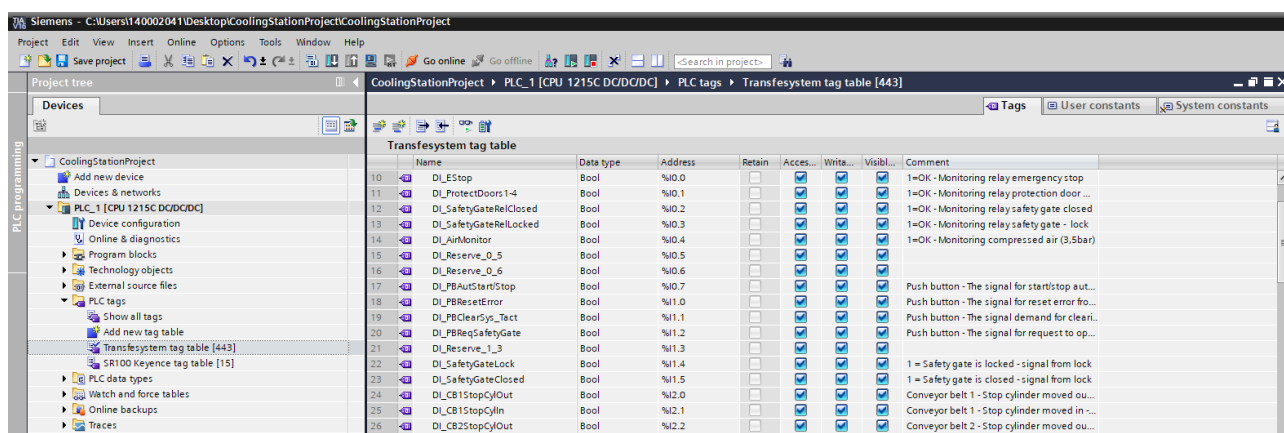
V celkovém programu rozdělujeme proměnné do dvou skupin, a to na lokální a globální proměnné.

Lokální proměnné jsou takové, jejichž platnost je omezena na určitou proceduru, funkci nebo blok. Tyto proměnné budeme definovat pro každý POU zvlášť (viz následující kapitola).

Globální proměnné mají na rozdíl od lokálních platnost v celém programu.

K definování těchto proměnných slouží záložka PLC Tags v navigačním stromu proměnných (tzv. tagů) projektu. V této záložce lze dále vytvořit další tabulky tagů, čímž lze opět zvýšit přehlednost celkového programu. My jsme tagy z tohoto pohledu rozdělili do dvou skupin, a to na:

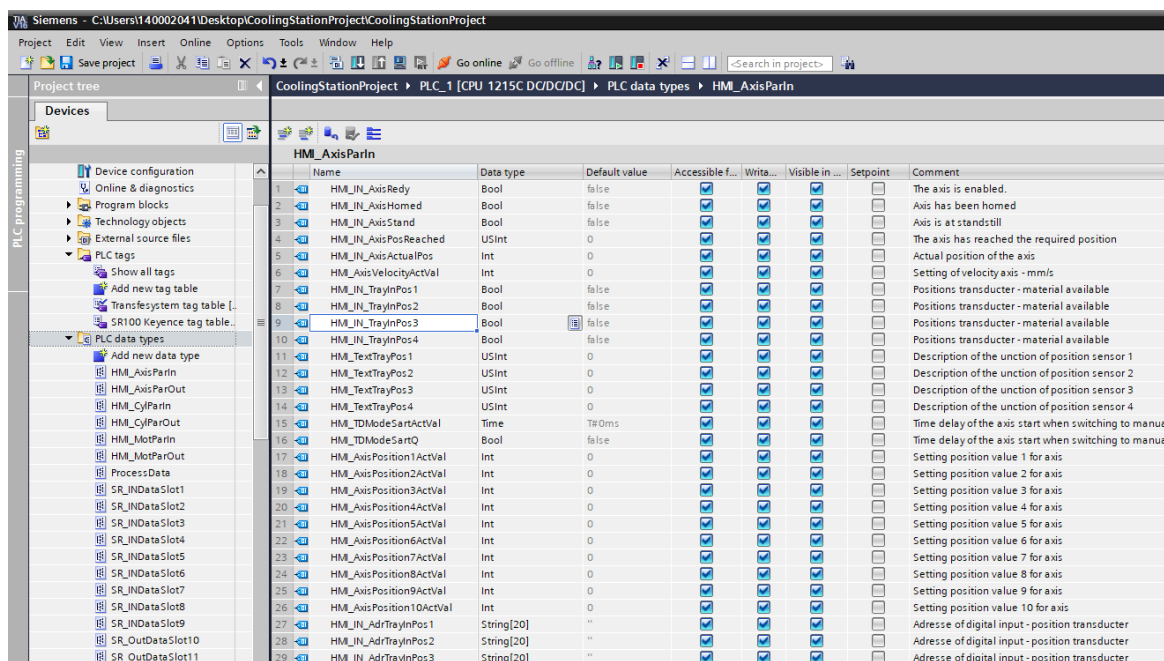
- „Transfersystem tag table [443]“.
- „SR1000 Keyence tag table [15]“.



Obrázek 41 – TIA portal – PLC Tags [archiv autora]

Další možností určité strukturace programu, respektive jeho proměnných je možnost využití tzv. uživatelem definovaných proměnných. Tyto proměnné lze definovat v záložce „PLC data types“. Pomocí tohoto přístupu lze vytvořit jednu proměnnou, která v sobě může zahrnovat několik dalších proměnných různých typů.

My jsme této možnosti využili např. pro vyčítání parametrů CMMT ovladačů, parametrů pro ovládání pístů a parametrů čtečky čárových kódů. Celkem jsme vytvořili 21 typů definovaných uživatelem, které v sobě skrývají celkem 545 proměnných různých datových typů.

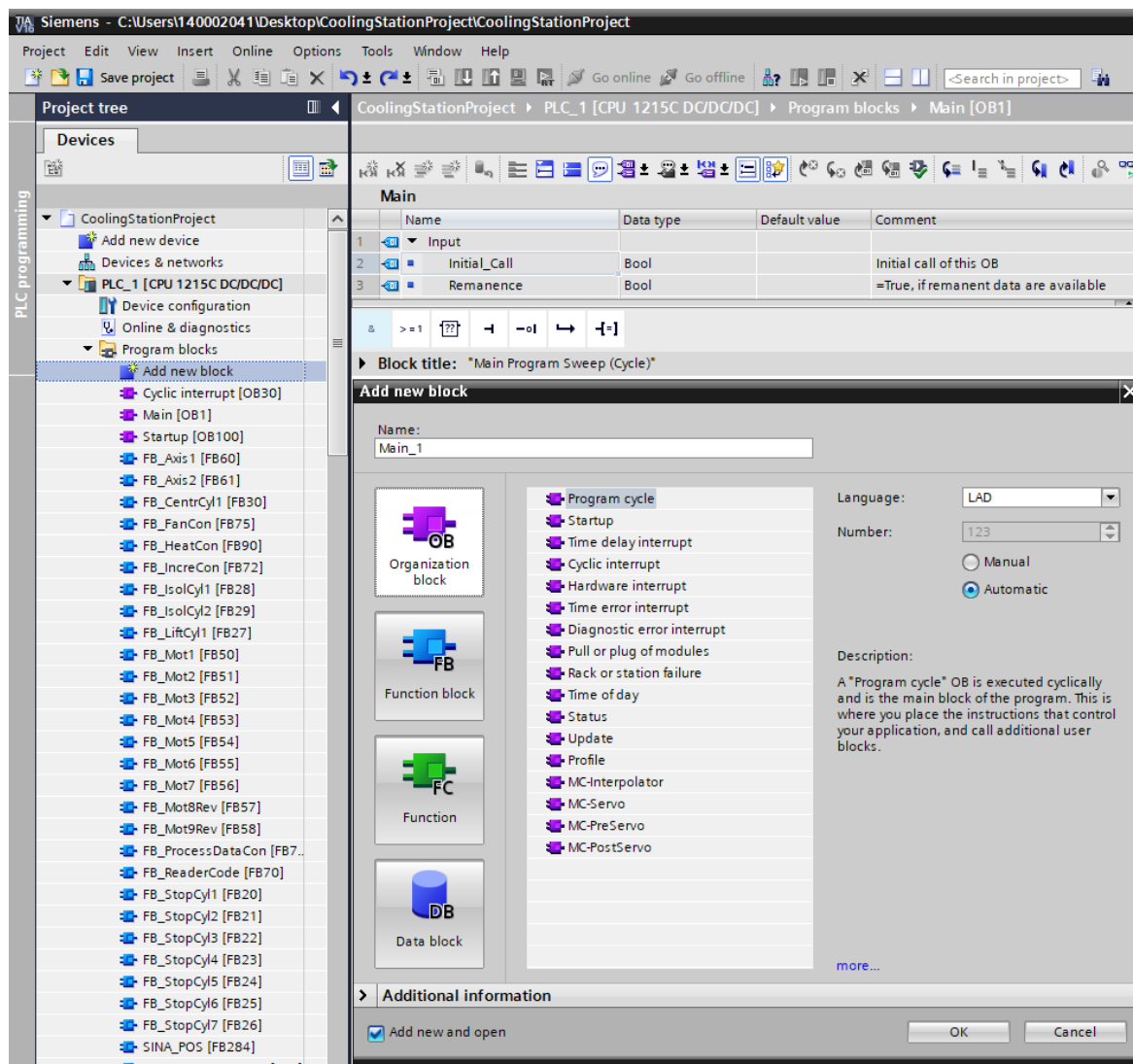


Obrázek 42 – TIA portal – PLC data types [archiv autora]

2.3.4 Tvorba softwaru

Ke zvýšení přehlednosti, strukturaci programu a možnosti opakovaného použití již vytvořených částí kódů je vhodné program rozdělit na jednotlivé objekty. Nejedná se o standardní objektově orientované programování, jelikož nepoužíváme základní metody tohoto principu, ale je vhodné program rozdělit na jednotlivé funkční objekty (motory, ventily, ventilátory, maják, čtečku čárových kódů atd.).

Každý z těchto objektů je reprezentován svým vlastním programovým blokem. Vložení nového programového bloku provedeme pomocí záložky „Add new block“ ve složce „Program blocks“ navigačního stromu projektu.



Obrázek 43 – TIA Portal – Add new block [archiv autora]

Na výběr zde máme několik typů programových bloků (viz kap. 1.1.4). My jsme pro vytvoření kompletního uživatelského programu použili celkem tři organizační bloky a čtyřicet čtyři funkčních bloků.

Kompletní seznam námi vytvořených bloků a jejich stručný popis je uveden v následující tabulce:

Tabulka 12 – Přehled POU uživatelského programu [archiv autora]

Typ	Název	Funkce
Organization block	Cyclic interrupt	Jedná se o organizační blok, jehož funkcí je cyklické přerušení s pevně danou periodou (viz.kap.1.1.3). V tomto bloku je cyklicky volán blok pro ovládání PID regulátoru, který je využitý pro regulaci ventilátorů (chlazení) a topných spirál (topení).
	Main	Tento organizační blok slouží k cyklickému volání uživatelského programu. Jedná se o tzv. hlavní organizační blok.
	Startup	Tento organizační blok je zavolán pouze jednou, a to při přechodu PLC do RUN režimu.
	FB_Axis1	Tento funkční blok ovládá funkci FESTO servo pohonu u pozice operátora.
Function block	FB_Axis2	Tento funkční blok ovládá funkci FESTO servo pohonu u pozice robota.
	FB_CentrCyl1	Tento funkční blok ovládá funkci centrovačho pístu (DLXXX).
	FB_FanCon	Tento funkční blok ovládá funkci ventilátorů.
	FB_HeatCon	Tento funkční blok ovládá funkci topných spirál.
	FB_IncreCon	Tento funkční blok ošetřuje navýšování proměnných při přejezdu unašečů dílů.
	FB_IsoCyl1	Tento funkční blok ovládá funkci oddělovacího pístu 1 (DLXXX).
	FB_IsoCyl2	Tento funkční blok ovládá funkci oddělovacího pístu 2 (DLXXX).
	FB_LiftCyl1	Tento funkční blok řídí zdvihací píst 1 (DLXXX).
	FB_Mot1	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 1.
	FB_Mot2	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 2.
	FB_Mot3	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 3.
	FB_Mot4	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 4.
	FB_Mot5	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 5.
	FB_Mot6	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 6.
	FB_Mot7	Tento funkční blok ovládá funkci motoru 7.
	FB_MotBRev	Tento funkční blok ovládá funkci reverzovaného motoru 8.
	FB_Mot9Rev	Tento funkční blok ovládá funkci reverzovaného motoru 9.
	FB_ProcessDataCon	Tento funkční blok ošetřuje přesun dat při přejezdu jednotlivých unašečů dílů.
	FB_ReaderCode	Tento funkční blok ovládá funkci čtečky čárových kódů.
	FB_StopCyl1	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 1 (DLXXX).
	FB_StopCyl2	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 2 (DLXXX).
	FB_StopCyl3	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 3 (DLXXX).
	FB_StopCyl4	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 4 (DLXXX).
	FB_StopCyl5	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 5 (DLXXX).
	FB_StopCyl6	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 6 (DLXXX).
	FB_StopCyl7	Tento funkční blok ovládá funkci stopovacího pístu 7 (DLXXX).
	Sina_Pos	Tento standardní funkční blok společnosti Siemens obstarává cyklickou výměnu dat mezi PLC a připojeným servo ovladačem pomocí standardního telegramu 111.
	STD_FB_ConButtons	Tento funkční blok ošetřuje ovládací prvky na zařízení - tlačítka a jejich LED signalizace.
	STD_FB_ErrMess	Tento funkční blok ošetřuje veškeré chybové stavy zařízení.
	STD_FB_HMIConDiag	Tento funkční blok ošetřuje výměnu diagnostických proměnných mezi PLC a HMI
	STD_FB_HMIConMess	Tento funkční blok ošetřuje výměnu textových zpráv mezi PLC a HMI panelem.
	STD_FB_HMIConPar	Tento funkční blok ošetřuje výměnu parametrů mezi PLC a HMI panelem.
	STD_FB_HMI_ConScr	Tento funkční blok ošetřuje změnu obrazovky HMI panelu na základě události PLC.
	STD_FB_HomePos	Tento funkční blok ošetřuje domovskou pozici zařízení - Inicializace stroje.
	STD_FB_Mode	Tento funkční blok ošetřuje jednotlivé provozní režimy zařízení (Ready, Manual, Automat, Service, Error, Init)
	STD_FB_RBHMICHangScr	Tento funkční blok je vnořen do funkčního bloku STD_FB_HMI_ConScr a tím doplňuje jeho správnou funkci.
	STD_FB_RBlockCheckCyl	Tento funkční blok je vnořen do všech funkčních bloků pro ovládání pístů. Slouží ke kontrole dosažení koncové pozice. Časový parametr pro kontrolu lze nastavit na HMI panelu.
	STD_FB_RBlockCyl	Tento funkční blok je vnořen do všech funkčních bloků pro ovládání pístů. Slouží k ovládání pohybů daného pístu na základě aktuálního operačního režimu.
	STD_FB_RBlockSigLamp	Tento funkční blok ovládá funkci signalizačního majáku na základě podmínek ve funkčním bloku STD_FB_SigLamp. Na HMI panelu lze de/aktivovat jednotlivé podmínky pro signalizaci.
	STD_FB_RobInt	Tento funkční blok ošetřuje výměnu signálů mezi zařízením a připojeným robotem.
	STD_FB_SigLamp	Tento funkční blok ošetřuje jednotlivé podmínky pro signalizaci majákem.
STD_FB_SigTact	Tento funkční blok slouží k ovládání signalizaci taktu v polo-automatickém provozu.	
STD_FB_SysTime	Tento funkční blok ošetřuje nastavení systémového času PLC.	

Z důvodu komplexnosti projektu si detailněji popíšeme pouze vybrané funkční bloky:

- **STD_FB_Mode**

Tento funkční blok byl navržen pro ovládání operačních režimů na základě jeho vstupů. Stroj se může během svého provozu nacházet celkem v šesti provozních stavech, a to:

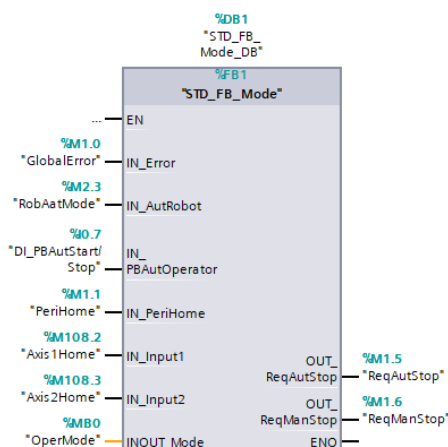
- **C_Mode_Ready** – stroj je připraven na přepnutí do manuálního nebo automatického režimu.
- **C_Mode_Automat** – stroj je přepnut do automatického režimu.
- **C_Mode_Manual** – stroj je přepnut do manuálního režimu.
- **C_Mode_Service** – stroj je přepnut do servisního režimu.
- **C_Mode_Error** – stroj je v chybovém režimu.
- **C_Mode_Init** – stroj je v inicializačním režimu.

Mezi těmito provozními stavy je přepínáno buď automaticky (např. při zaznamenání chybového stavu – kontrola doby běhu pásu, nedosažení koncové pozice pístu atd.) nebo manuálně, a to z HMI panelu zařízení nebo pomocí signálu od robota.

Funkční blok STD_FB_Mode se nachází v hlavním programu (Main [OB1]), tudíž je opětovně volán s každým cyklem PLC.

Na vstupní straně funkčního bloku nalezneme proměnnou o chybovém stavu (GlobalError), informaci o automatickém provozu robota (RobAatMode), digitální signál od tlačítka Start/Stop automatický provoz (DI_PBAutStart/Stop), proměnnou o domovské pozici zařízení (PeriHome), proměnnou o zareferování osy 1 (Axis1Home) a osy 2 (Axis2Home) a vstupně-výstupní proměnnou OperMode.

Na výstupní straně bloku nalezneme požadavek na ukončení automatického provozu (ReqAutStop) a požadavek na ukončení manuálního provozu (ReqManStop).



Obrázek 44 – TIA Portal – STD_FB_Mode [archiv autora]

Z principu funkce PLC vyplývá, že na začátku cyklu dojde nejdříve k přečtení vstupních proměnných bloku a následnému nastavení výstupů na základě logiky napsané uvnitř bloku.

Kompletní kód funkčního bloku `STD_FB_Mode` je uveden v příloze.

Logika bloku je znázorněna na následujícím vývojovém diagramu.

Podmínky pro automatický režim:

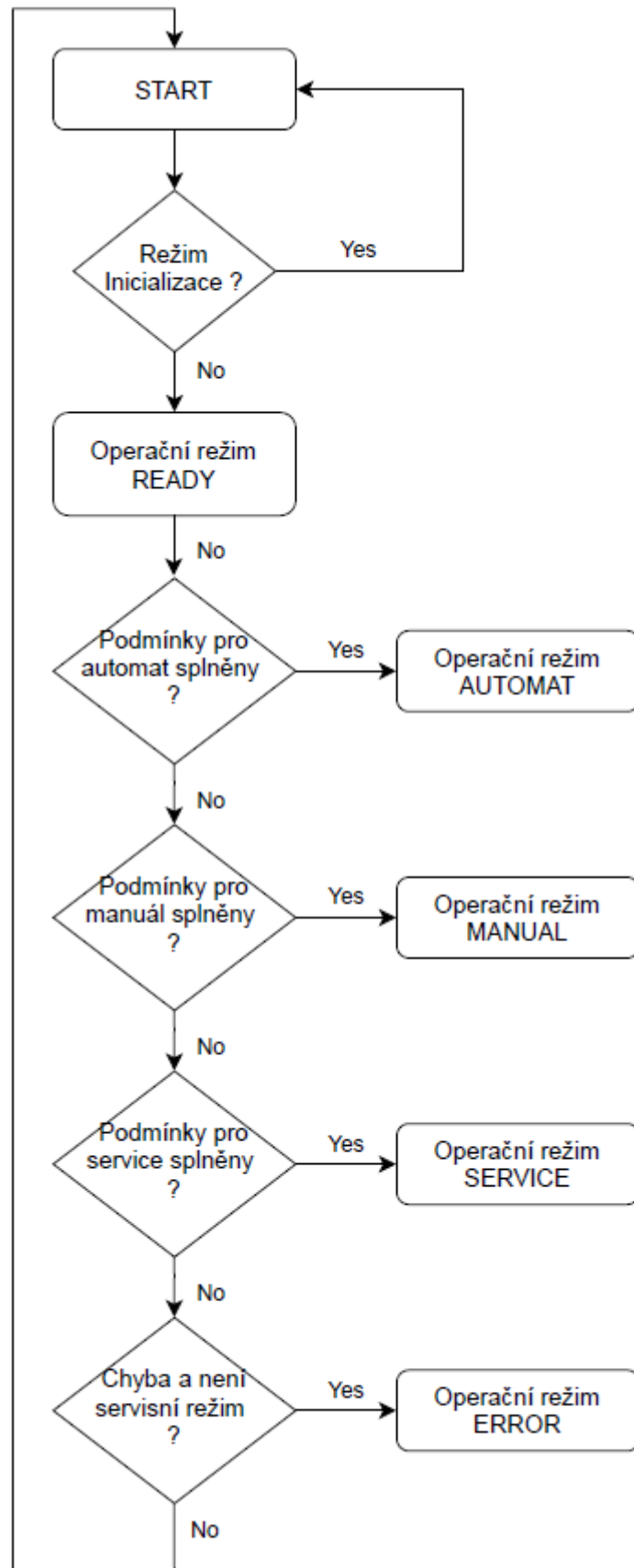
- Aktivní operační režim READY;
- Servo ovladač osa 1 je připraven;
- Servo ovladač osa 2 je připraven;
- Požadavek na aktivaci automatického režimu.

Podmínky pro manuální režim:

- Aktivní operační režim READY;
- Servo ovladač osa 1 je připraven;
- Servo ovladač osa 2 je připraven;
- Požadavek na aktivaci manuálního režimu.

Podmínky pro servisní režim:

- Aktivní operační režim READY nebo ERROR;
- Požadavek na aktivaci servisního režimu.

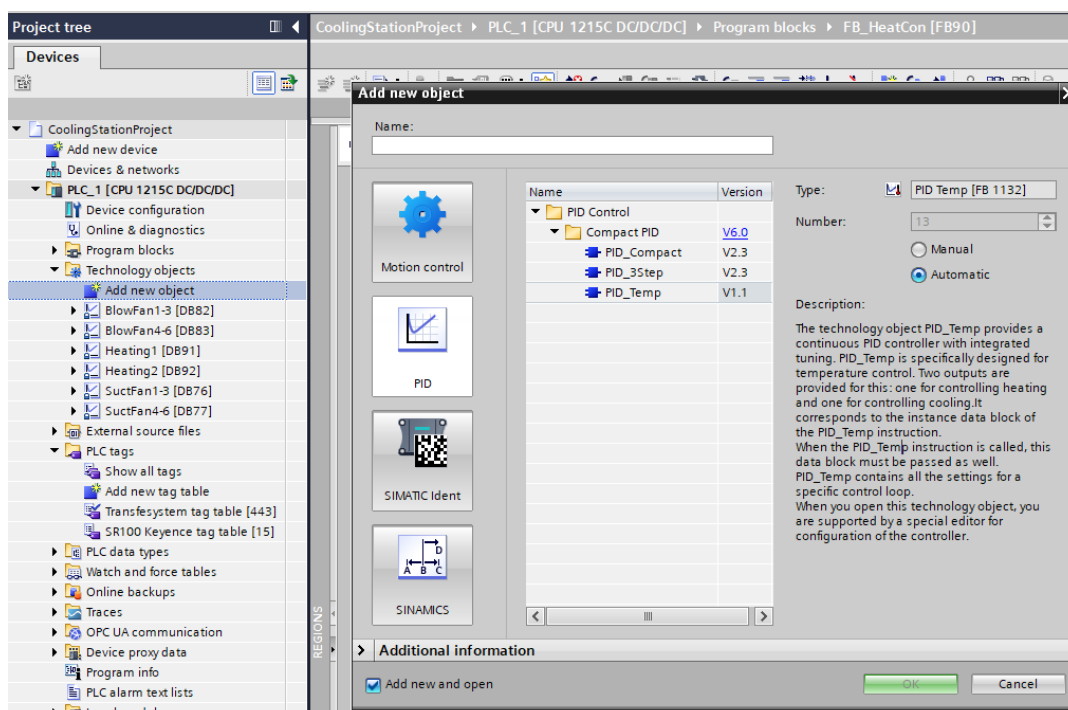


Obrázek 45 – Vývojový diagram STD_FB_Mode [archiv autora]

- **FB_HeatCon**

Tento funkční blok byl navržen pro ovládání topných spirál pomocí PID regulátoru, který je již implementovaný do PLC S7-1200 ve formě tzv. technologického objektu. Nejedná se o fyzický PID regulátor, ale celková regulace je realizována pomocí matematických výpočtů. Samotný výstup je řízený pomocí PWM modulace.

Nejdříve je nutné vytvořit samotný technologický objekt. K tomu slouží záložka „Add new object“ ve složce „Technology objects“ navigačního stromu projektu.



Obrázek 46 – TIA Portal – Technology objects [archiv autora]

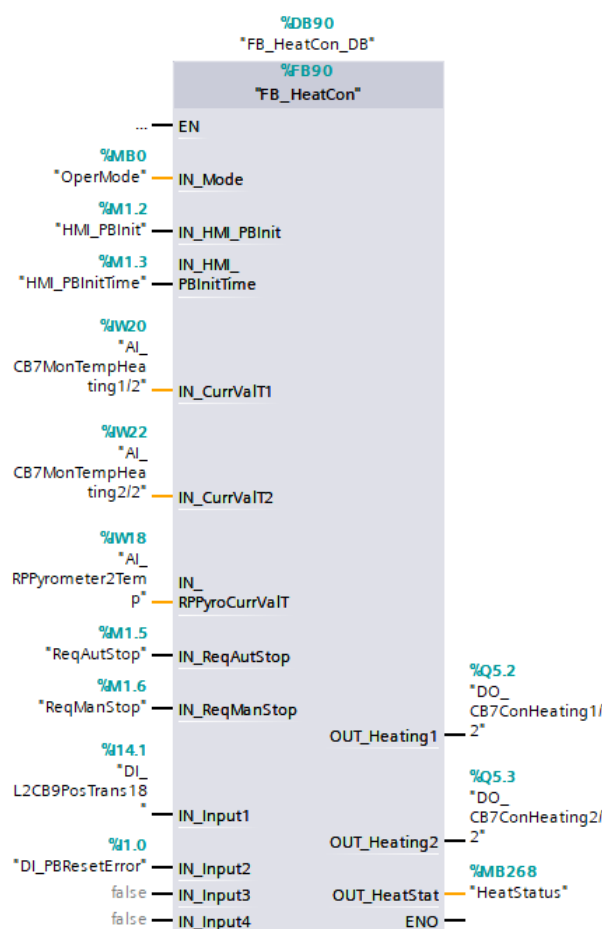
Po zvolení požadovaného typu regulace se zobrazí navigační obrazovka, která nás provede kompletním nastavením PID regulace. V následujících krocích zvolíme typ ovládané veličiny, vstupní a výstupní parametry, procesní hodnoty atd.

Dalším krokem je vytvoření samotného funkčního bloku FB_HeatCon, jehož úkolem je ovládání PID regulace na základě jeho vstupních hodnot.

Mezi vstupní parametry tohoto bloku patří aktuální operační režim (OperMode), tlačítko inicializace (HMI_PBInit), tlačítko inicializace časových hodnot (HMI_PBInitTime), teplotní čidlo 1 (CB7MonTempHeating1/2) a teplotní čidlo 2

(CB7MonTempHeating2/2), hodnota pyrometru (RPPyrometer2Temp), požadavek na zastavení automatického režimu (ReqAutStop), požadavek na zastavení manuálního režimu (ReqManStop), vstup z čidla kontroly pozice dílu (L2CB9PosTrans18) a požadavek na reset chybového stavu (DI_PB_ResetError).

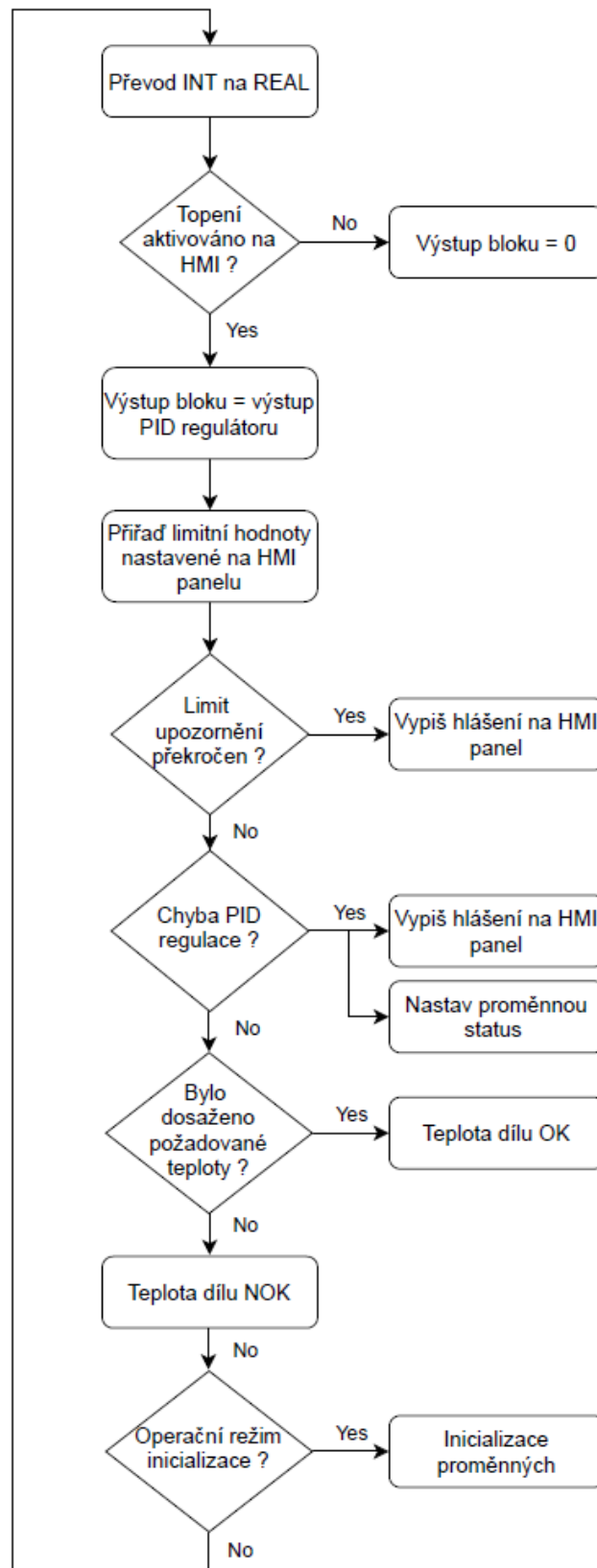
Na výstupní straně bloku nalezneme výstup na ovládání topné spirály 1 (DO_CB7ConHeating1/2), topné spirály 2 (DO_CB7ConHeating2/2) a diagnostický výstup (HeatStatus).



Obrázek 47 – TIA Portal – FB_HeatCon [archiv autora]

Pro správnou funkci PID regulátoru je požadováno cyklické volání bloku s pevně danou frekvencí. Z tohoto důvodu voláme funkční blok `FB_HeatCon` uvnitř organizačního bloku Cyclic interrupt [OB30] s pevně danou periodou 250 ms.

Logika funkčního bloku FB_HeatCon je znázorněna na následujícím vývojovém diagramu:



Obrázek 48 – Vývojový diagram FB_HeatCon [archiv autora]

Při zavolání funkčního bloku FB_HeatCon dojde nejdříve k převodu vstupních proměnných IN_CurrValT1, IN_CurrValT2 a IN_RPPyroCurrValT datového typu INT na datový typ REAL. Tímto převodem docílíme možnosti zadávat požadovanou teplotu dílu v desetínách stupňů Celsia.

V následujícím kroku je zavolán technologický objekt reprezentující PID regulátor („Heating1“).

Na vstupní straně technologického objektu PID regulátoru nalezneme:

- Setpoint – požadovaná teplota nastavena na HMI panelu;
- Input – aktuální naměřená teplota datového typu REAL;
- Reset – vstup pro reset PID regulátoru.

Na výstupní straně technologického objektu PID regulátoru nalezneme:

- Output_PWM – výstup PID regulátoru ve formě PWM.

Dále dojde k zapsání mezních hodnot (horních a dolních) pro požadovanou teplotu nastavenou na HMI panelu.

V dalším kroku je ošetřen alarmový stav, pokud by došlo k dosažení, popř. překročení určité teploty. Hodnota této alarmové teploty je opět nastavena na HMI panelu.

V další části bloku je ošetřen chybový stav PID regulátoru na základě jeho návratové hodnoty. Tato návratová hodnota typu DWORD může reprezentovat celkem 23 stavů PID regulátoru. Detailnější popis lze nalézt v nápovědě TIA Portalu.

Následně je naměřená hodnota pyrometru vypsána na HMI panelu v sekci „Topení – Topný tunel – Parametry“.

V posledním kroku je vyhodnoceno dosažení požadované teploty na výstupu topného tunelu reprezentované proměnnou typu BOOL (NOK/OK).

Na konci tohoto funkčního bloku je část programu, která ošetřuje inicializaci stroje, během níž dojde k nastavení počátečních hodnot tohoto bloku.

Tabulka 13 – Základní hodnoty PID regulátoru [archiv autora]

Proměnná	Hodnota [°C]
#HMI_ReqTemp	70
#HMI_UpperTempLimit	90
#HMI_LowerTempLimit	0
#HMI_PartTempUpperLimit	80
#HMI_PartTempLowerLimit	60
#HMI_HeatWarUpperLimit	80
#HMI_HeatWarLowerLimit	60

2.4 Projekt HMI

Zkratka HMI reprezentuje Human-Machine Interface neboli rozhraní mezi člověkem a strojem. V tomto projektu jsme zvolili dotykový panel TP900 Basic od společnosti Siemens, který bude sloužit k ovládání, parametrizaci a monitorování stroje. K tomuto úkolu bylo nutné vytvořit jednotlivé obrazovky, navrhnout systém alarmových hlášení, realizovat záznam a zobrazení procesních dat a vytvořit správu oprávněných uživatelů, kteří mohou měnit dané parametry stroje.

Pro tvorbu HMI aplikací ovládacích panelů Siemens je určený vizualizační program WinCC flexible, který je opět integrován do konceptu TIA Portal.

Vizualizace navržená v této kapitole navazuje na řídicí program PLC vytvořený v kapitole 2.3. Při tvorbě řídicího programu se již počítalo s vizualizací, a proto jsou v programu PLC již zahrnuty funkční bloky, které mají přímou návaznost na logiku použitou při vizualizaci, např. pro zobrazování alarmových hlášení (STD_FB_ErrMess).

2.4.1 Tvorba HW konfigurace

Prvním krokem při vytváření vizualizace pomocí HMI panelu je opět přidání požadovaného panelu do HW sestavy projektu, respektive jeho topologie. K tomu slouží záložka „Add new device“ v navigačním stromu projektu. Po zvolení požadovaného typu panelu nás TIA Portal provede základním nastavením, mezi něž patří např. vytvoření spojení s daným PLC, výběr základní šablony, zobrazení alarmů, nastavení úvodní obrazovky atd.

Nicméně tento průvodce nabízí pouze začáteční konfiguraci, ke které je možné se poté vrátit přes navigační strom projektu. V této části navigačního stromu projektu, určené pro HMI panel, máme na výběr několik záložek, s jejichž pomocí lze např. změnit konfiguraci panelu, nastavení runtime, vytvořit nové obrazovky, vytvořit HMI tagy, spravovat uživatele atd.

2.4.2 Tvorba HMI tags

Přenos proměnných mezi aplikací HMI panelu a řídicím programem PLC je realizovaný pomocí tzv. HMI tags. Tyto tagy lze rozdělit do dvou skupin na interní a externí.

- Interní tagy – slouží pouze pro tvorbu vizualizace. Jsou využívány pro výměnu dat mezi jednotlivými objekty HMI panelu.
- Externí tagy – slouží pro výměnu dat mezi HMI panelem a PLC systémem.

Hodnota tagu je aktualizována při startu HMI aplikace a následně je aktualizována cyklicky podle nastaveného cyklu.

K samotnému vytvoření HMI tagů se dostaneme přes záložku HMI tags v navigačním stromu projektu. V tomto editoru lze nastavit i několik parametrů vytvořeného tagu, ať už se jedná o název tagu, umístění, datový typ, připojení na dané PLC, periodu načítání tagu atd.

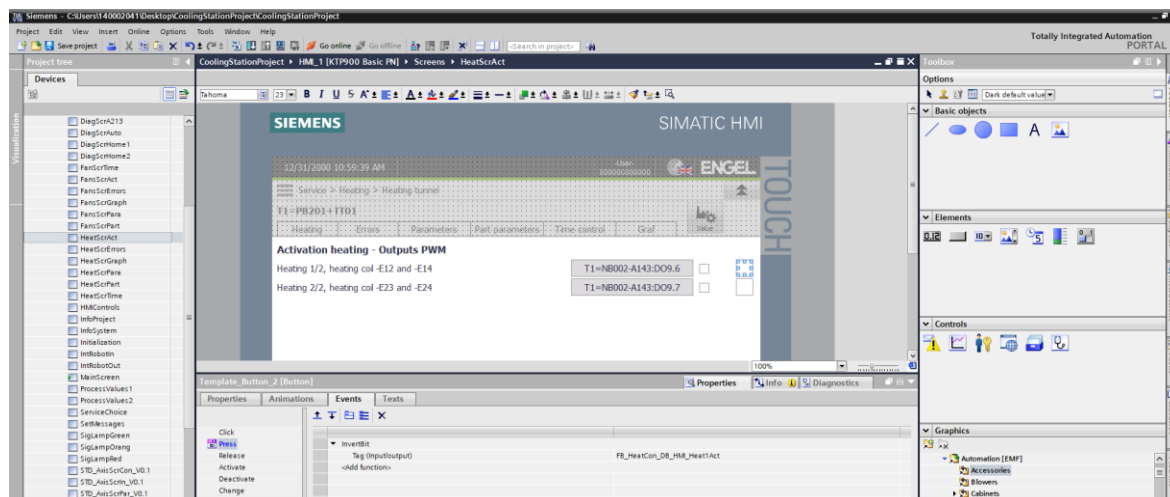
Name	Tag table	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Acquisition cycle	Source comment
BlowFan1-3_ErrorBits	Default tag table	DWord	HMI_Connecto...	PLC_1	"BlowFan1-3" ErrorBits		<symbolic access>	100 ms	error message
BlowFan4-6_ErrorBits	Default tag table	DWord	HMI_Connecto...	PLC_1	"BlowFan4-6" ErrorBits		<symbolic access>	100 ms	error message
ConUserName	Default tag table	WString	<internal tag>		<undefine>			100 ms	
DI_CB1StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB1StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 1 -Stop cylinder moved out - DL101+
DI_CB3StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB3StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 2 -Stop cylinder moved out - DL102+
DI_CB4StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB4StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 3 -Stop cylinder moved out - DL103+
DI_CB5StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB5StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 4 -Stop cylinder moved out - DL104+
DI_CB6StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB6StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 5 -Stop cylinder moved out - DL105+
DI_CB7StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB7StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 6 -Stop cylinder moved out - DL106+
DI_CB7toCj2Out	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB7toCj2Out		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 7 -Isolation cylinder 1 (beginning of th...
DI_CB7toCj2Out	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB7toCj2Out		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 7 -Isolation cylinder 2 (end of the heat...
DI_CB7StopCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_CB7StopCjOut		<symbolic access>	100 ms	Conveyor belt 7 -Stop cylinder moved out - DL107+
DI_EnterRobLiRCyIn	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_EnterRobLiRCyIn		<symbolic access>	100 ms	Entrance for the robot is close - Lifting cylinder move...
DI_EnterRobLiRCyOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_EnterRobLiRCyOut		<symbolic access>	100 ms	Entrance for the robot is open - Lifting cylinder move...
DI_L2CB9CentrCjIn	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_L2CB9CentrCjIn		<symbolic access>	100 ms	Lifting unit 2 -Conveyor belt 9 -Centring cylinder mo...
DI_L2CB9CentrCjOut	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	DI_L2CB9CentrCjOut		<symbolic access>	100 ms	Lifting unit 2 -Conveyor belt 9 -Centring cylinder mo...
DI_PBAutStartStop	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	"DI_PBAutStartStop"		<symbolic access>	100 ms	Push button -The signal for start/stop automatic mod...
FB_FanCon_DB_CoolOPart	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Coo...		<symbolic access>	100 ms	The result of the part cooling check - part is NOK
FB_FanCon_DB_HMI_AirCo	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_AirC...		<symbolic access>	100 ms	Activation of the air conditioning unit - from HMI
FB_FanCon_DB_HMI_AirCo	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_AirC...		<symbolic access>	100 ms	Activation of the air conditioning unit - from HMI
FB_FanCon_DB_HMI_BlowF	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Blo...		<symbolic access>	100 ms	Activation of the blowing fan 1 - from HMI
FB_FanCon_DB_HMI_BlowF	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Blo...		<symbolic access>	100 ms	Activation of the blowing fan 2 - from HMI
FB_FanCon_DB_HMI_CoolTL	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Coo...		<symbolic access>	100 ms	Temperature in the cooling area - reached the warmin...
FB_FanCon_DB_HMI_CoolTL	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Coo...		<symbolic access>	100 ms	Temperature in the cooling area - reached the warmin...
FB_FanCon_DB_HMI_Lower	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Low...		<symbolic access>	100 ms	Entry for process value low limit.
FB_FanCon_DB_HMI_OPPr	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_OPPr...		<symbolic access>	500 ms	Operator position -Part temperature monitoring - Pyr...
FB_FanCon_DB_HMI_PartCo	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Part...		<symbolic access>	100 ms	Part cooling control - lower cool limit.
FB_FanCon_DB_HMI_PartCo	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Part...		<symbolic access>	100 ms	Part cooling control - upper cool limit.
FB_FanCon_DB_HMI_ReqTe	Default tag table	Real	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Req...		<symbolic access>	100 ms	Request to temperature.
FB_FanCon_DB_HMI_ResetC	Default tag table	Bool	HMI_Connecto...	PLC_1	FB_FanCon_DB_HMI_Rese...		<symbolic access>	100 ms	Restarts the controller -cooling

Obrázek 49 – TIA portal – HMI tags [archiv autora]

2.4.3 Tvorba HMI vizualizace

Celková vizualizace se skládá z řady obrazovek, mezi nimiž je možné přepínat manuálně pomocí nadefinovaných tlačítek, nebo na základě definované události (např. změna bitu v PLC).

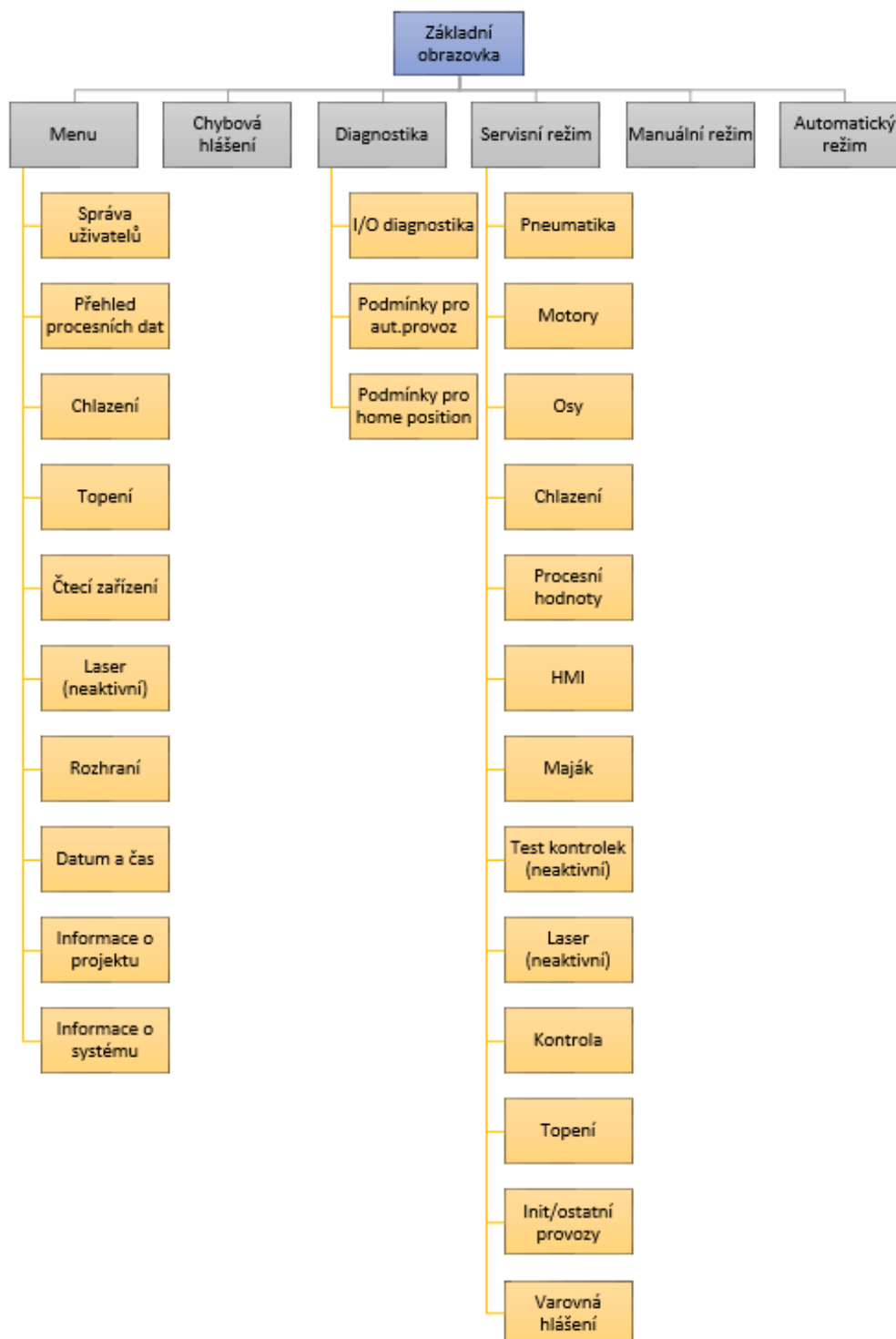
Návrh samotných obrazovek je v TIA Portalu poměrně intuitivní a většinu operací provádíme metodou „drag and drop“, kde přetáhneme požadovaný ovládací prvek z předem připravené knihovny na určené místo HMI obrazovky. Následně upravíme nastavení daného prvku a zvolíme jeho funkci vůči požadované procesní hodnotě (tagu), např. po kliknutí na dané tlačítko změň jeho hodnotu (viz obr. 41). Takto nadefinované tlačítko po stisknutí invertuje hodnotu bitu v tagu FB_HeatCon_DB_HMI_Heat1Act. Tím dojde k de/aktivaci topné spirály 1.



Obrázek 50 – TIA Portal – Funkce tlačítka [archiv autora]

Při návrhu HMI aplikace je dobré věnovat nemalou pozornost struktuře této aplikace, jinak by mohlo dojít k tomu, že výsledný projekt bude chaotický a navigace mezi jednotlivými obrazovkami nelogická.

Námi vytvořené obrazovky HMI panelu jsou uspořádány v následující struktuře:



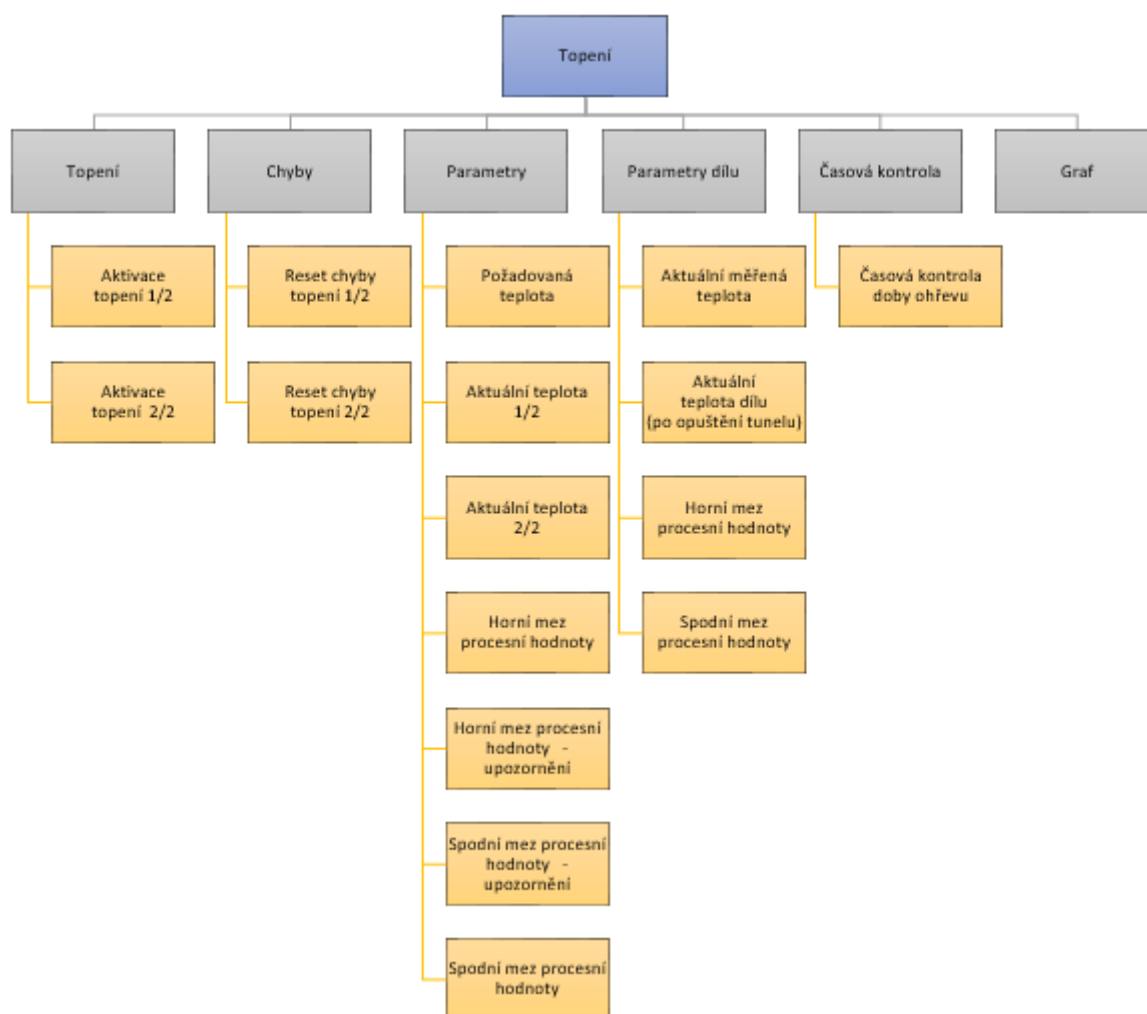
Obrázek 51 – Struktura HMI projektu [archiv autora]

Z důvodu komplexnosti projektu si dále detailněji popíšeme pouze vybranou HMI obrazovku. Jako příklad jsem zvolil obrazovku navrženou pro ovládání a parametrizaci topení, která navazuje na funkční blok popsany v kapitole 2.3.3.

Do části určené k ovládání a parametrizaci topení se dostaneme po přihlášení oprávněného uživatele přes servisní režim, kde zvolíme záložku „Topení“.

Tato část HMI projektu se skládá celkem ze 6 obrazovek, mezi nimiž je možné libovolně přepínat. Každá z těchto obrazovek je určena k nastavení specifických parametrů.

Na následujícím obrázku je zobrazeno uspořádání jednotlivých obrazovek pro parametrizaci a diagnostiku topení.



Obrázek 52 – Struktura obrazovek [archiv autora]

2.4.4 Tvorba HMI alarmů

Velice důležitou částí návrhu vizualizace HMI panelů je správa alarmových hlášení. Během provozu strojního zařízení může nastat situace, kdy je vyžadován zásah obsluhy. Může se jednat pouze o upozornění obsluhy na neočekávanou událost, kdy je potřeba tento alarm pouze potvrdit, nebo o závažnější stav, který vyžaduje odborný zásah zodpovědné osoby (např. zásah do elektroinstalace).

Alarmy v HMI panelech společnosti Siemens lze rozdělit do dvou skupin. Tou první jsou systémové alarmy, které slouží k informování uživatele o vnitřním stavu systému. Druhou skupinou jsou uživatelem definované alarmy, které jsou určeny k informování uživatele o stavu procesu, popř. stavu zařízení.

Uživatelsky definované alarmy můžeme dále rozdělit na diskrétní, které se používají ke sledování stavů, a analogové, které se používají na kontrolu porušování mezí.

Další možností rozdělení uživatelem definovaných alarmů je podle tzv. alarmových tříd (alarm class), do nichž rozdělujeme alarmy dle jejich důležitosti, a to na upozornění (warnings) a chyby (errors). Na základě zařazení jednotlivých alarmů do těchto tříd můžeme tyto alarmy na panelu filtrovat, popř. zobrazit s odlišným barevným podbarvením atd.

K editoru alarmových hlášení se dostaneme přes záložku HMI alarms v navigačním stromu projektu.

V samotném editoru alarmů definujeme název, text, alarmovou třídu, spouštěcí tag a jeho bit, popř. potvrzovací tag a jeho bit.

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigger bit	Trigger address	HMI acknowl...	HMI a...	HMI acknowl...
1	Discrete_alarm_1	No tray on depilling place!	Warnings	STD_FB_ErrM...	0	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
2	Discrete_alarm_2	Pile-up place will be full / Unloading belt will be full!	Warnings	STD_FB_ErrM...	1	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
3	Discrete_alarm_3	Pile-up place is full !Unloading belt is full!	Warnings	STD_FB_ErrM...	2	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
4	Discrete_alarm_4	Incorrect tray in this system! Do it check trays on the depilling place!	Warnings	STD_FB_ErrM...	3	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
5	Discrete_alarm_5	The function empty the system is activated!	Warnings	STD_FB_ErrM...	4	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
6	Discrete_alarm_6	Unloading of the material!	Warnings	STD_FB_ErrM...	5	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
7	Discrete_alarm_7	The function filling the system is activated!	Warnings	STD_FB_Err...	6	STD_FB_Err...	<No tag>	0	
8	Discrete_alarm_8	Operator window - window for loading and unloading material is open!	Warnings	STD_FB_ErrM...	7	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
9	Discrete_alarm_9	Axis 1 is not homed - make an axis reference!	Warnings	STD_FB_ErrM...	8	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
10	Discrete_alarm_10	Axis 2 is not homed - make an axis reference!	Warnings	STD_FB_ErrM...	9	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
11	Discrete_alarm_11	Cooling control - The process value has reached or exceeded the warning high or low limit!	Warnings	STD_FB_ErrM...	10	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
12	Discrete_alarm_12	Heating control - The process value has reached or exceeded the warning high or low limit!	Warnings	STD_FB_ErrM...	11	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
13	Discrete_alarm_13	The current temperature of the cooled parts before entering the heating tunnel is outside the required tolerance!	Warnings	STD_FB_ErrM...	12	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
14	Discrete_alarm_14	The current temperature of the heated parts after leaving the heating tunnel is outside the required tolerance!	Warnings	STD_FB_ErrM...	13	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
15	Discrete_alarm_15	Axis 1 - Blocking the movement of the axis - sensors for monitoring the protection area report an obstacle.	Warnings	STD_FB_ErrM...	14	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
16	Discrete_alarm_16	Axis 2 - Blocking the movement of the axis - sensors for monitoring the protection area report an obstacle.	Warnings	STD_FB_ErrM...	15	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
17	Discrete_alarm_17	Drive enable on peripherals blocked - emergency stop / protective door of the robot!	Warnings	STD_FB_ErrM...	0	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
18	Discrete_alarm_18	Protective door of the machine are open!	Warnings	STD_FB_ErrM...	1	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
19	Discrete_alarm_19	Low pressure in the pneumatic circuit of the tray server!	Warnings	STD_FB_ErrM...	2	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
20	Discrete_alarm_20	Outage of the supply voltage DC2 +24VDC!	Warnings	STD_FB_ErrM...	3	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
21	Discrete_alarm_21	Outage of the switching voltage DC3 +24VDC!	Warnings	STD_FB_ErrM...	4	STD_FB_ErrM...	<No tag>	0	
22	Discrete_alarm_22		Errors	<No tag>	0		<No tag>	0	
23	Discrete_alarm_23		Errors	<No tag>	0		<No tag>	0	

Obrázek 53 – TIA Portal – HMI alarms [archiv autora]

Avšak v našem projektu tento typ potvrzení nevyužíváme, stejně jako nevyužíváme analogových alarmů k hlídání, např. překročení požadované teploty dílu.

K vyvolání jednotlivých alarmových hlášení jsme vytvořili funkční blok STD_FB_ErrMess v programu PLC, který aktivuje jednotlivá alarmová hlášení na základě jeho vstupních hodnot. Z tohoto důvodu jsou veškeré alarmy tohoto projektu definovány jako diskrétní.

Veškerá upozornění jsou na HMI panelu podbarvena žlutě, zatímco chybová hlášení jsou podbarvena červeně.

Námi definované chybové stavy stroje lze dále rozdělit do dvou skupin, a to na automaticky potvrzované (např. aktivace nouzové tlačítka, otevření bezpečnostních dveří, pokles tlaku v pneumatickém okruhu atd.) a uživatelem potvrzované (např. překročení doby běhu motoru, aktivace tepelné ochrany motoru, chyba servo ovladače atd.).

Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh jednoúčelového zařízení řízeného pomocí programovatelného logického automatu. Téma diplomové práce bylo vybráno na základě mé praxe ve společnosti Engel strojírenská spol. s r.o, kde pracuji na oddělení automatizace a transportní techniky jako elektro-konstruktér a PLC programátor.

Na začátku tohoto projektu jsem se nejdříve musel seznámit s požadavky investora na nové zařízení. Na základě těchto požadavků jsem vytvořil podklady pro prodejní oddělení, které dále komunikovalo s investorem.

Po schválení nabídky a objednání stroje jsme ve spolupráci s konstruktérem zodpovědným za mechanickou část stroje vytvořili koncept, který je zobrazen v kapitole 2.1.2.

Po schválení tohoto konceptu investorem jsem pomocí projekčního softwaru ePlan vytvořil projektovou dokumentaci potřebnou pro zapojení elektrických a pneumatických obvodů včetně vyspecifikování veškerého elektroinstalačního materiálu stroje. Během této části projektu bylo dále nutné navrhnout zapojení bezpečnostních obvodů tak, abychom ve výsledku dosáhli požadované úrovně zabezpečení stroje. Úvod do této problematiky popisující bezpečnost strojních zařízení je popsán v kapitole 1.2.

Po dokončení projektové dokumentace jsem pomocí podnikového informačního systému SAP vytvořil materiálový kusovník, který obsahuje veškerý elektroinstalační materiál potřebný pro kompletaci tohoto zařízení. Na základě těchto dat došlo k objednání materiálu.

V další etapě projektu jsem vytvořil software pro programovatelný logický automat (PLC). Při projektování jsem se rozhodl pro použití PLC od společnosti Siemens, a proto bylo nutné pro návrh softwaru PLC využít vývojové prostředí TIA Portal. V této části mé diplomové práce jsem popsal jednotlivé kroky nutné k vytvoření samotného projektu, mezi něž patří hardwarová konfigurace řídicího systému, tvorba PLC tagů, tvorba technologických objektů a samotných bloků určených k řízení jednotlivých částí stroje.

V následujícím kroku jsem vytvořil projekt pro HMI panel, který je určený pro ovládání, parametrizaci a diagnostiku stroje. Tento projekt byl opět vytvořen v prostředí TIA Portalu. Během této části jsem opět přiblížil čtenáři jednotlivé kroky nutné k vytvoření HMI projektu, mezi něž patří konfigurace hardwaru, založení HMI tagů, tvorba jednotlivých obrazovek, jejich prvků a konfigurace alarmových hlášení.

Po kompletaci zařízení našimi technikami jsem nahrál software do PLC a HMI panelu, nastavil veškeré senzory a akční členy a kompletně otestoval celé zařízení.

Po interním otestování všech funkcí stroje v areálu firmy Engel strojírenská došlo k integraci zařízení do robotické buňky v areálu investora a kompletnímu uvedení do provozu.

Přínosem pro čtenáře této diplomové práce je praktická ukázka práce konstruktéra při návrhu automatizovaného strojního zařízení včetně tvorby softwaru pro řídicí systém tohoto zařízení.

Výstupem diplomové práce je projektová dokumentace čítající 278 stran, kompletní elektro-materiálový kusovník, řídicí software obsahující přibližně 18 500 řádek kódu a vizualizace skládající se z 53 obrazovek.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ELEKTROPRŮMYSL. Programovatelné automaty (PLC). In: *Elektroprůmysl.cz* [online]. 26. 8. 2016 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/programovatelné-automaty-plc>
- [2] PLC AUTOMATIZACE. Historie PLC. *Plc-automatizace.cz* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/historie/historie-plc.htm>
- [3] KŘENA, M. Historie, současnost a budoucnost programovatelných automatů Modicon. In: *Automa.cz* [online]. 11. 2. 2015 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/historie-soucasnost-a-budoucnost-programovatelnych-automatu-modicon-2015_02_53424_07835/
- [4] SIEMENS. LOGO! Basic Modules. *New.siemens.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-basic-modules.html#BasicModuleswithdisplay>
- [5] SIEMENS. SIMATIC S7-1500. *New.siemens.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>
- [6] KOZIOREK, J. a L. CHROMČÁK. *Logické systémy řízení a programovatelné automaty*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1490-2.
- [7] PLC AUTOMATIZACE. PLC-cyklus. *Plc-automatizace.cz* [online]. © 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-cyklus.htm>
- [8] ŠMEJKAL, L. a M. MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace*. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-58-9.
- [9] PLC AUTOMATIZACE. PLC-přerušení. *Plc-automatizace.cz* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-preruseni.htm>
- [10] ŠMEJKAL, L. a J. ČERNÝ. Esperanto programátorů PLC: programování podle normy IEC/EN 61131-3. *Automa* [online]. 2017, č. 4, s. 2–3 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://tecoacademy.cz/wp-content/uploads/2017/04/Esperanto-final.pdf>
- [11] VOJÁČEK, A. Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys). In: *Automatizace.hw.cz* [online]. 3. 3. 2011 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz//programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>
- [12] VOJÁČEK, A. Bezpečnost strojů - 2. díl – PL vs. SIL. In: *Automatizace.hw.cz* [online]. 23. 11. 2011 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-2-dil-pl-vs-sil.html>

- [13] EPLAN. Řešení EPLAN – Vše z jediného zdroje. *Eplan.cz* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: https://www.eplan.cz/reseni/?utm_term=eplan&utm_campaign=Brand_SN_D&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=1236174220&hsa_cam=8738495500&hsa_grp=96554321508&hsa_ad=413322789579&hsa_src=g&hsa_tgt=aud-639845292927:kwd-301064453233&hsa_kw=eplan&hsa_mt=e&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=EAIAIQobChMI2eGh-vfQ8AIVD2EYCh1LlwaREAAAYASAAEgJsx_D_BwE
- [14] BENETKA, T. *Příprava materiálů pro výuku softwarového nástroje Eplan*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Branislav Bátora.
- [15] SIEMENS. 6AV2123-2JB03-0AX0. *Mall.industry.siemens.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6AV2123-2JB03-0AX0>
- [16] MARTINEK, R. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [17] SICK AG. Miniaturní optoelektronické snímače G6. *Sick.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/g6/gl6-p4112/p/p211805>
- [18] SICK. Indukční snímače IME. *Sick.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-04npszt0s/p/p228398?ff_data=JmZmX2lkPXAyMjgzOTgmZmZfbWFzdGVySWQ9cDIyODM5OCZmZl90aXRzZT1JTUUwOC0wNE5QU1pUMFMmZmZfcXVlcnk9SU1FMDgtMDROUFNaVDBTICZmZl9wb3M9MSZmZl9vcmlnUG9zPTEEmZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTI0JmZmX29yaWdQYWdlU2I6ZT0yNCZmZl9zaW1pPTk4LjA=
- [19] VOJÁČEK, A. Magnetické senzory přiblížení – 1. díl. In: *Automatizace.HW.cz* [online]. 2. 10. 2017 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni.html>
- [20] SICK. Senzory pro válce s T-drážkou RZT7. *Sick.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/magneticke-senzory-polohy-valcu/senzory-pro-valce-s-t-drazkou/rzt7/rzt7-03zrs-kp0/p/p400679>
- [21] PILZ. PSEN cs4. 1p 1switch. *Pilz.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/cs-CZ/eshop/0010600221704680NI/PSENcode-compact-design/541160=PSEN-cs4.1p-1switch>
- [22] EUCHNER. TP3-4131A024M. *Euchner.de* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/a/084129/>
- [23] KEYENCE. Čtečka kódů s automatickým zaostřením: SR-1000W. *Keyence.eu* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/barcode/sr-1000/models/sr-1000w/>

- [24] FORNEL, B. de a J.-P. LOUIS. *Electrical actuators: identification and observation*. London: ISTE, 2010, 465 s.
- [25] SONEPAR. ELR H3-I-SC-24DC/500AC-2. *Sonepar.cz* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.sonepar.cz/elr-h3-i-sc-24dc-500ac-2>
- [26] DIGIKEY. Phoenix Contact 2903342. *Digikey.gr* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.digikey.gr/product-detail/en/phoenix-contact/2903342/277-10084-ND/4755336>
- [27] PILZ. PNOZ s5 24VDC 2 n/o 2 n/o t. *Pilz.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/en-INT/eshop/0010000200700380GC/Time-monitoring/750105=PNOZ-s5-24VDC-2-n-o-2-n-o-t>
- [28] SIEMENS. Siemens TIA Portal – jednotné vývojové prostředí pro automatizaci v průmyslu. In: *Automa.cz* [online]. © 2011 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/siemens-tia-portal-jednotne-vyvojove-prostredi-pro-automatizaci-v-prumyslu-2011_03_43212_6058/
- [29] SIEMENS. SIMATIC S7 S7 – 1200 Programmable controller System manual. *Industry.siemens.com* [online]. © 2014 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf
- [30] KOVÁŘ, Ing. Josef, Ing. Zuzana PROKOPOVÁ a Ing. Ladislav ŠMEJKAL, CSC. *Programování dle normy IEC 61 131* [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: [https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/PLC_sup/TXV00321_\(v11\)_Programovani_PLC_TECOMAT_podle_IEC_61131-3.pdf](https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/PLC_sup/TXV00321_(v11)_Programovani_PLC_TECOMAT_podle_IEC_61131-3.pdf)
- [31] PAUL, M. a M. BURGER. *Implementace e-learningu do výuky automatizační techniky část III: Učební texty – pneumatika* [online]. Písek: PŠ a VOŠ Písek, Karla Čapka 402, 397 01 Písek, 2006 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/7697412-Pruvodni-zprava-k-projektu.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Kompaktní PLC Siemens LOGO [4]	15
Obrázek 2 – Modulární PLC Siemens S7-1500 [5].....	15
Obrázek 3 – Blokové schéma programovatelného automatu [6].....	16
Obrázek 4 – Cyklus PLC [7]	17
Obrázek 5 – Časový průběh přerušení [9]	18
Obrázek 6 – Základní struktura POU [30].....	21
Obrázek 7 – Jazyk kontaktních schémat [archív autora]	21
Obrázek 8 – Jazyk funkčního blokového diagramu [archív autora]	22
Obrázek 9 – Jazyk instrukcí [archív autora]	22
Obrázek 10 – Jazyk strukturovaného textu [archív autora]	22
Obrázek 11 – Ukázka programu pomocí SFC [archív autora]	23
Obrázek 12 – Výpočet PLr [12]	25
Obrázek 13 – Výpočet SIL [12]	25
Obrázek 14 – EPLAN platforma [13].....	28
Obrázek 15 – 3D vizualizace stroje [archív autora]	31
Obrázek 16 – Struktura kompletního projektu v EPLAN P8 Electric [archív autora].....	32
Obrázek 17 – Struktura námi vytvořeného projektu v EPLAN P8 Electric [archív autora].....	33
Obrázek 18 - EPLAN – Návrh zapojení servo ovladače CMMT [archív autora].....	34
Obrázek 19 – Náhled na řídicí systém PLC [archív autora].....	35
Obrázek 20 – HMI panel [15]	35
Obrázek 21 – Beckhoff bus coupler [archív autora].....	36
Obrázek 22 – Rozhraní periférie – robot	37
Obrázek 23 – GL6-P4112 [17].....	38
Obrázek 24 – IME08-04NPSZT0S [18].....	39
Obrázek 25 – RZT7-03ZRS-KP0 [20]	40
Obrázek 26 – PILZ PSEN CS4.1P [21].....	40
Obrázek 27 – EUCHNER TP3 [22]	41
Obrázek 28 – Logické zapojení bezpečnostních okruhů [archív autora].....	41
Obrázek 29 – Čtečka Keyence SR-1000W [23].....	42
Obrázek 30 – Hybridní spouštěč ELR H3-I-SC [25].....	43
Obrázek 31 – Specifikace servo pohonu [archív autora].....	43
Obrázek 32 – Pneumatický motor [31].....	45
Obrázek 33 – Reléový modul Phoenix Contact [26]	50
Obrázek 34 – Diagram PNOZ relé [27].....	51
Obrázek 35 – Struktura kusovníku [archív autora].....	53
Obrázek 36 – TIA Portal – Založení projektu [archív autora].....	54
Obrázek 37 – TIA Portal – Device view [archív autora].....	55
Obrázek 38 – TIA portal – Hardwarová konfigurace [archív autora].....	56
Obrázek 39 – TIA portal – Network view [archív autora].....	56
Obrázek 40 – Příklad bitových datových typů [29].....	57
Obrázek 41 – TIA portal – PLC Tags [archív autora]	58
Obrázek 42 – TIA portal – PLC data types [archív autora].....	59
Obrázek 43 – TIA Portal – Add new block [archív autora].....	60
Obrázek 44 – TIA Portal – STD_FB_Mode [archív autora]	63
Obrázek 45 – Vývojový diagram STD_FB_Mode [archív autora].....	64
Obrázek 46 – TIA Portal – Technology objects [archív autora].....	65
Obrázek 47 – TIA Portal – FB_HeatCon [archív autora].....	66
Obrázek 48 – Vývojový diagram FB_HeatCon [archív autora]	67
Obrázek 49 – TIA portal – HMI tags [archív autora].....	70
Obrázek 50 – TIA Portal – Funkce tlačítka [archív autora].....	71
Obrázek 51 – Struktura HMI projektu [archív autora]	72
Obrázek 52 – Struktura obrazovek [archív autora].....	73
Obrázek 53 – TIA Portal – HMI alarms [archív autora].....	75
Obrázek 54 – Náhled na stroj I.....	1
Obrázek 55 – Náhled na stroj II	1
Obrázek 56 – Ukázka náhledu stroje zpracovaného v SW Eplan.....	2
Obrázek 57 – Návrh rozmístění senzorů a akčních členů.....	3

Obrázek 58 – Odkládací a odebírací pozice robota	4
Obrázek 59 – Návrh rozvaděčové skříně.....	5
Obrázek 60 - Zapojení rozvaděčové skříně	6
Obrázek 61 – Návrh zapojení servo ovladače CMMT I.....	7
Obrázek 62 – Návrh zapojení servo ovladače CMMT II.....	8
Obrázek 63 – Návrh zapojení servo motoru CMMT III.....	9
Obrázek 64 – Návrh zapojení pneumatických okruhů.....	10
Obrázek 65 – Ukázka vizualizace – servisní menu	11
Obrázek 66 – Ukázka vizualizace – Osa 2	11

Seznam tabulek

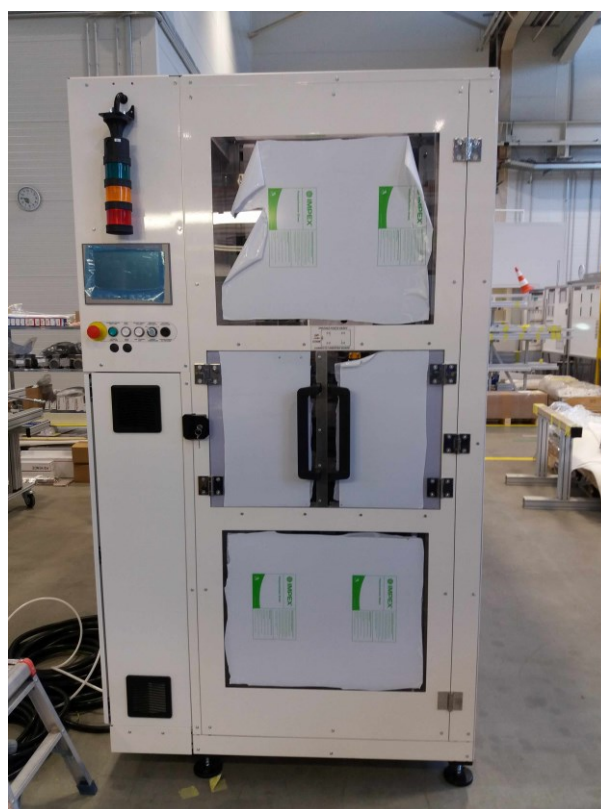
Tabulka 1 – Porovnání normy ČSN ISO 13 849 a ČSN EN 62 061 [archiv autora]	26
Tabulka 2 – Použité normy a kritéria [archiv autora]	27
Tabulka 3 – Základní normy pro formální zpracování projektu [14]	29
Tabulka 4 – Legenda 3D vizualizace [archiv autora]	31
Tabulka 5 – Přehled použitých modulů PLC [archiv autora]	35
Tabulka 6 – Schematické značky použitých pneumatických pohonů [archiv autora]	45
Tabulka 7 – Schematické značky použitých pneumatických ventilů [archiv autora]	46
Tabulka 8 – Přehled použitých ventilů [archiv autora]	47
Tabulka 9 – Spotřeba dílčích prvků při napětí 24 V DC [archiv autora]	48
Tabulka 10 – Přehled ochranných prvků [archiv autora]	49
Tabulka 11 – Přehled barevného značení použitých vodičů [archiv autora]	52
Tabulka 12 – Přehled POU uživatelského programu [archiv autora]	61
Tabulka 13 – Základní hodnoty PID regulátoru	69

Přílohy

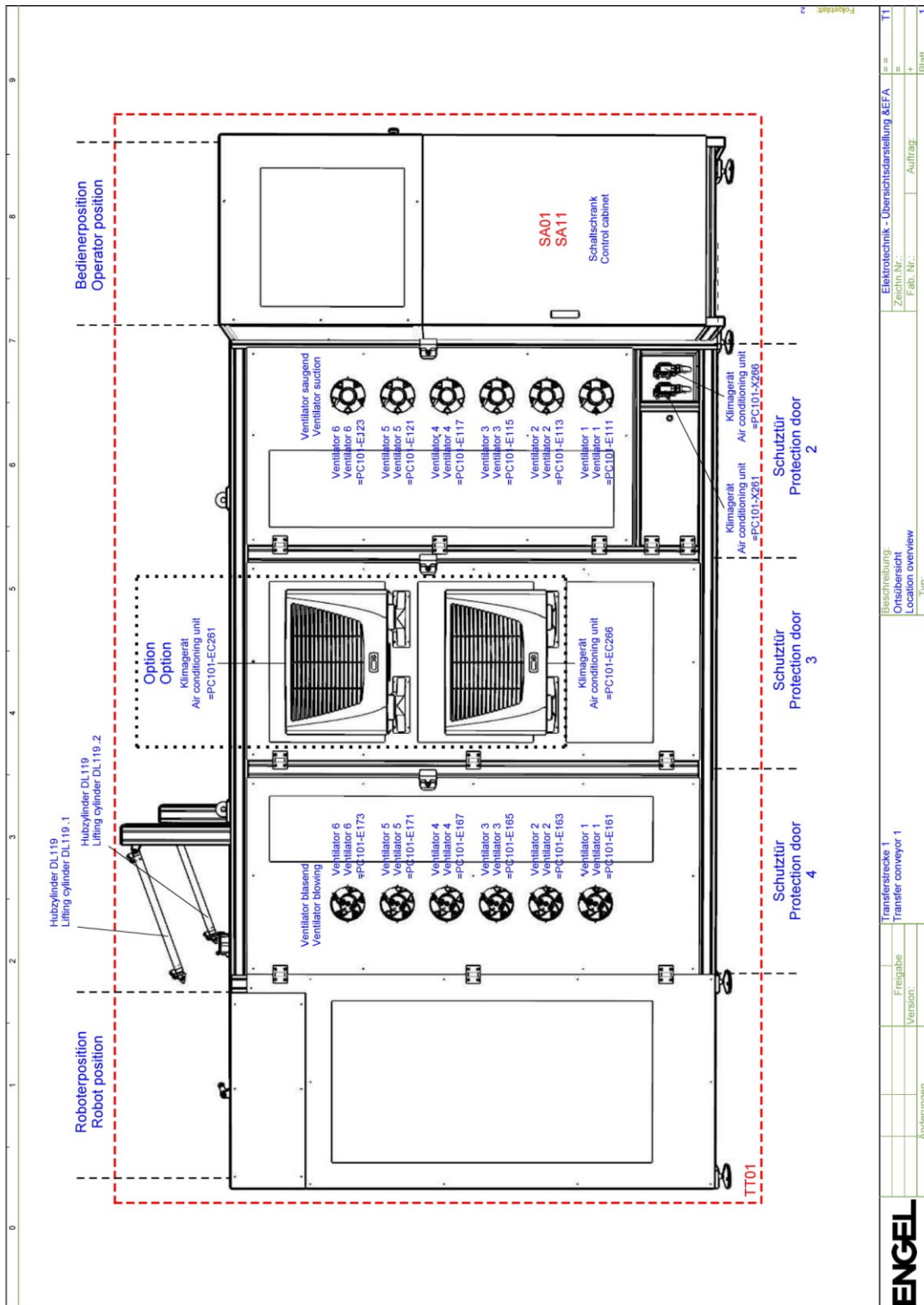
Příloha A – Realizace stroje



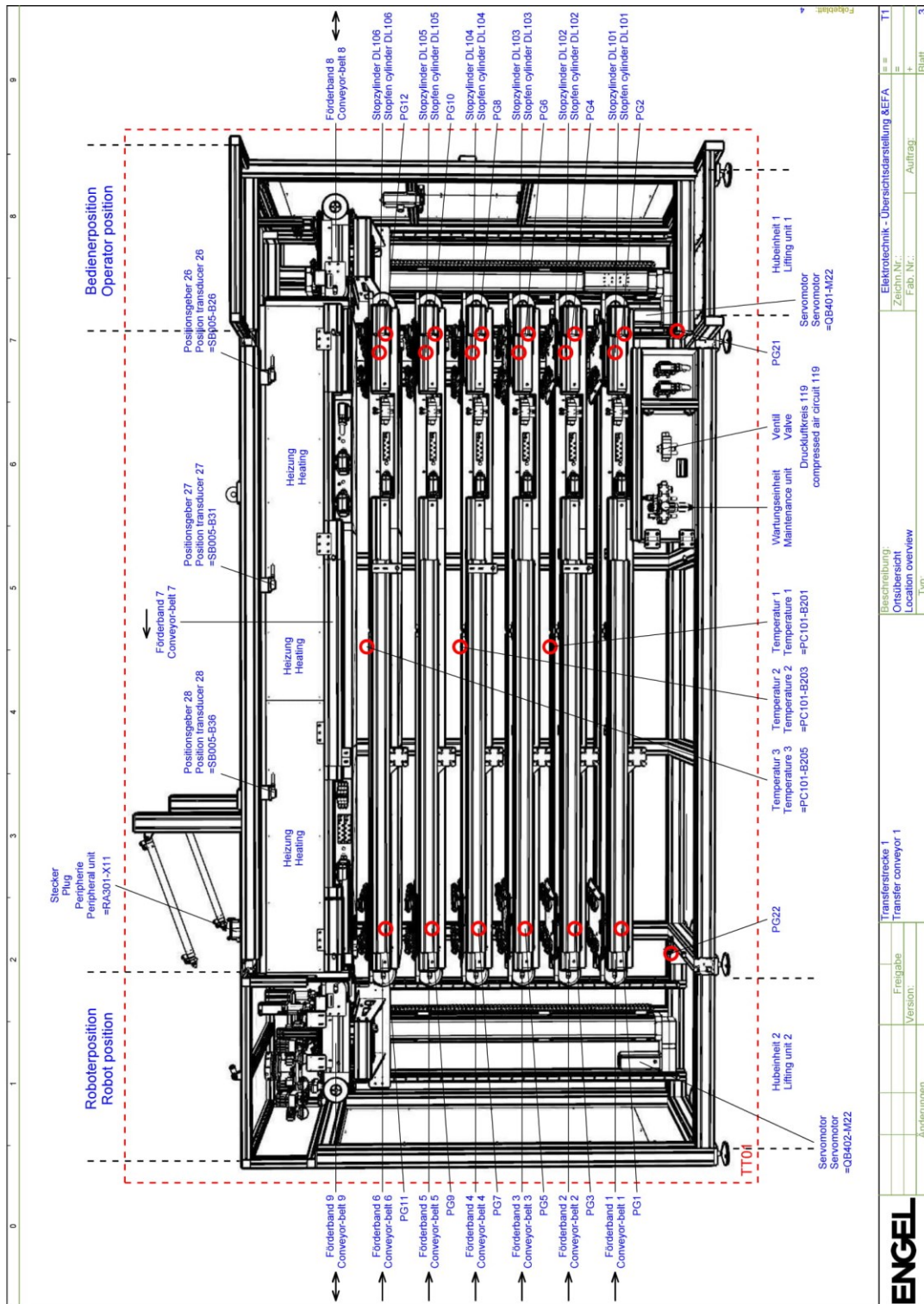
Obrázek 54 – Náhled na stroj I [archiv autora]



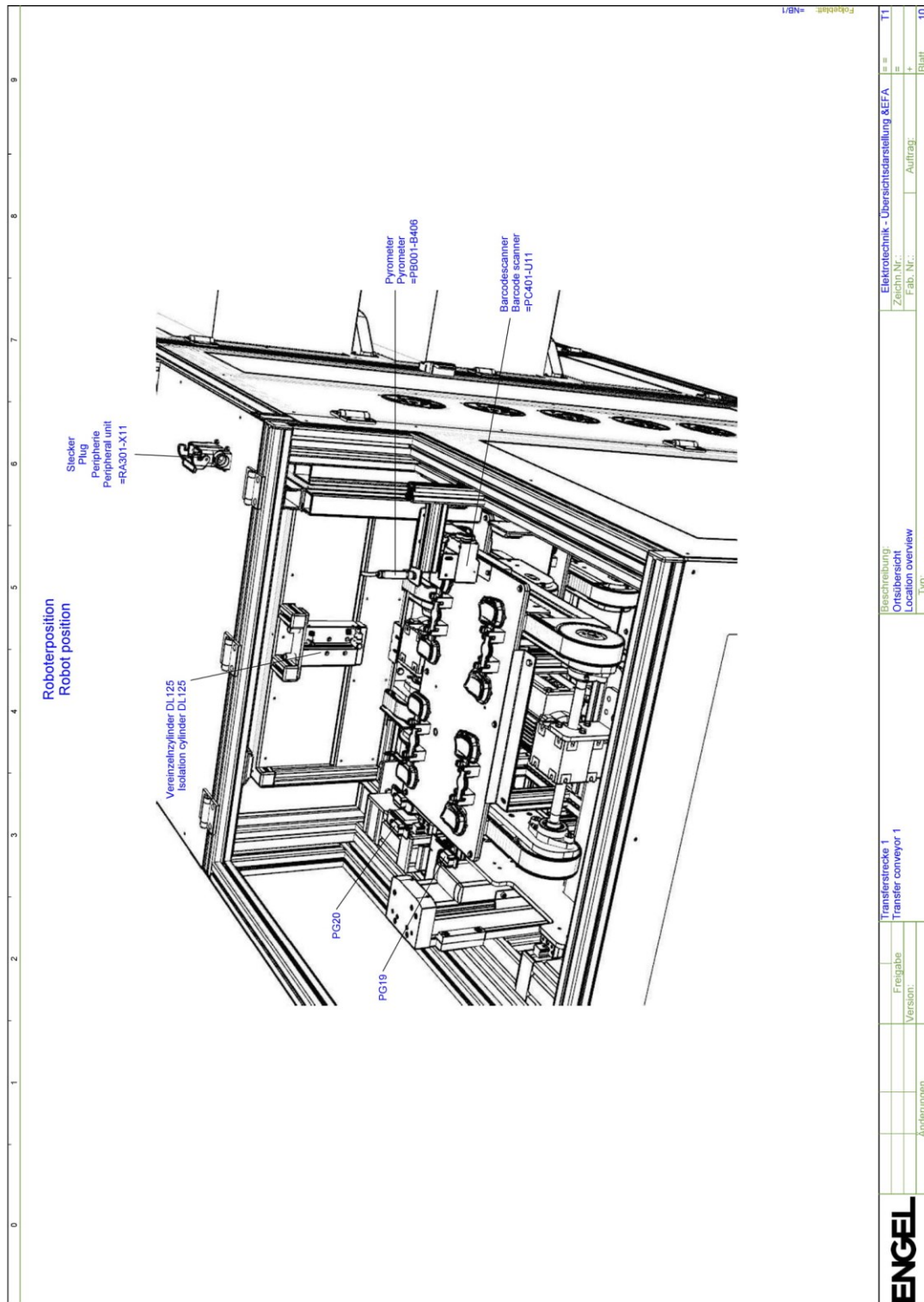
Obrázek 55 – Náhled na stroj II [archiv autora]



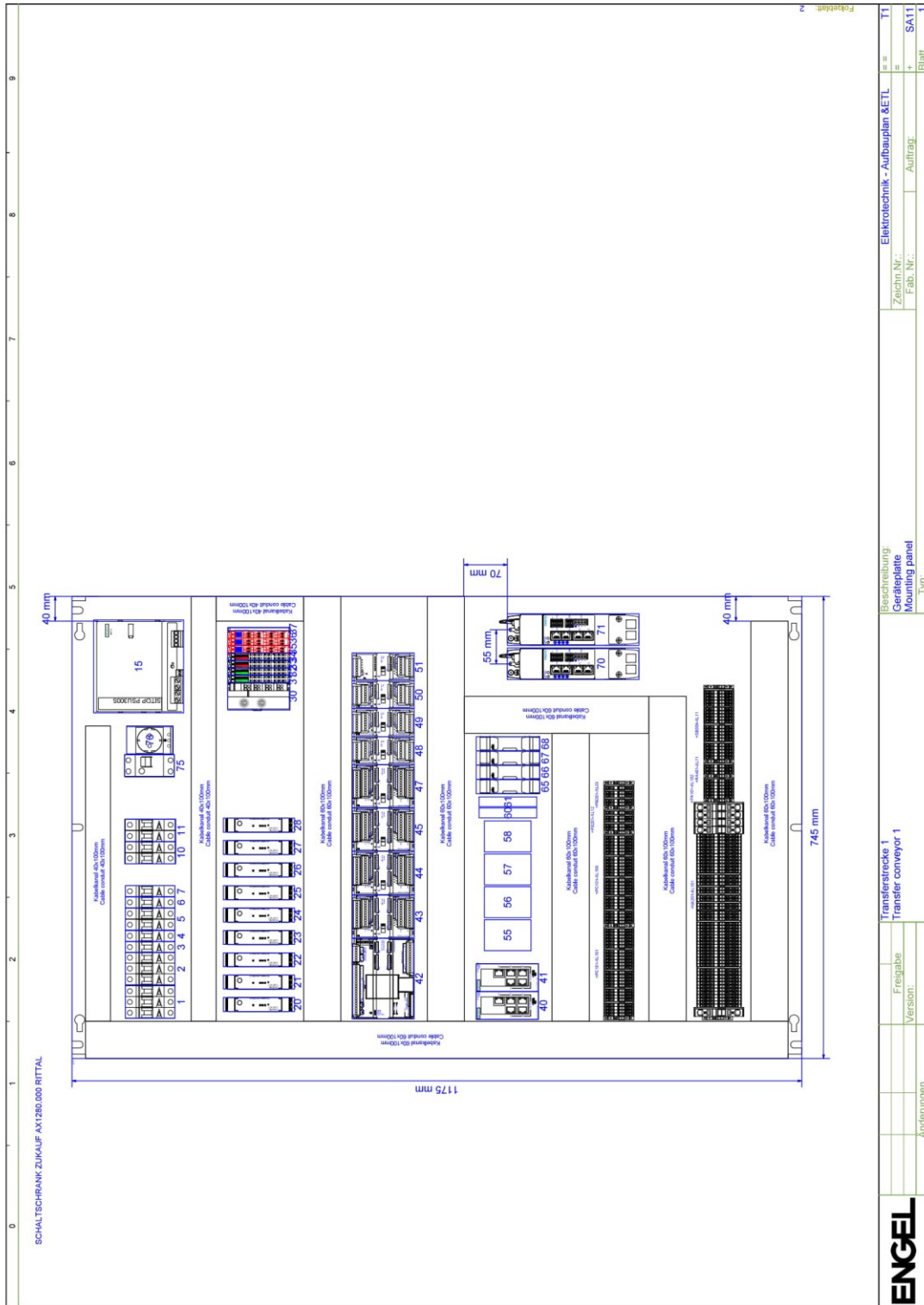
Obrázek 56 – Ukázka náhledu stroje zpracovaného v SW Eplan [archiv autora]



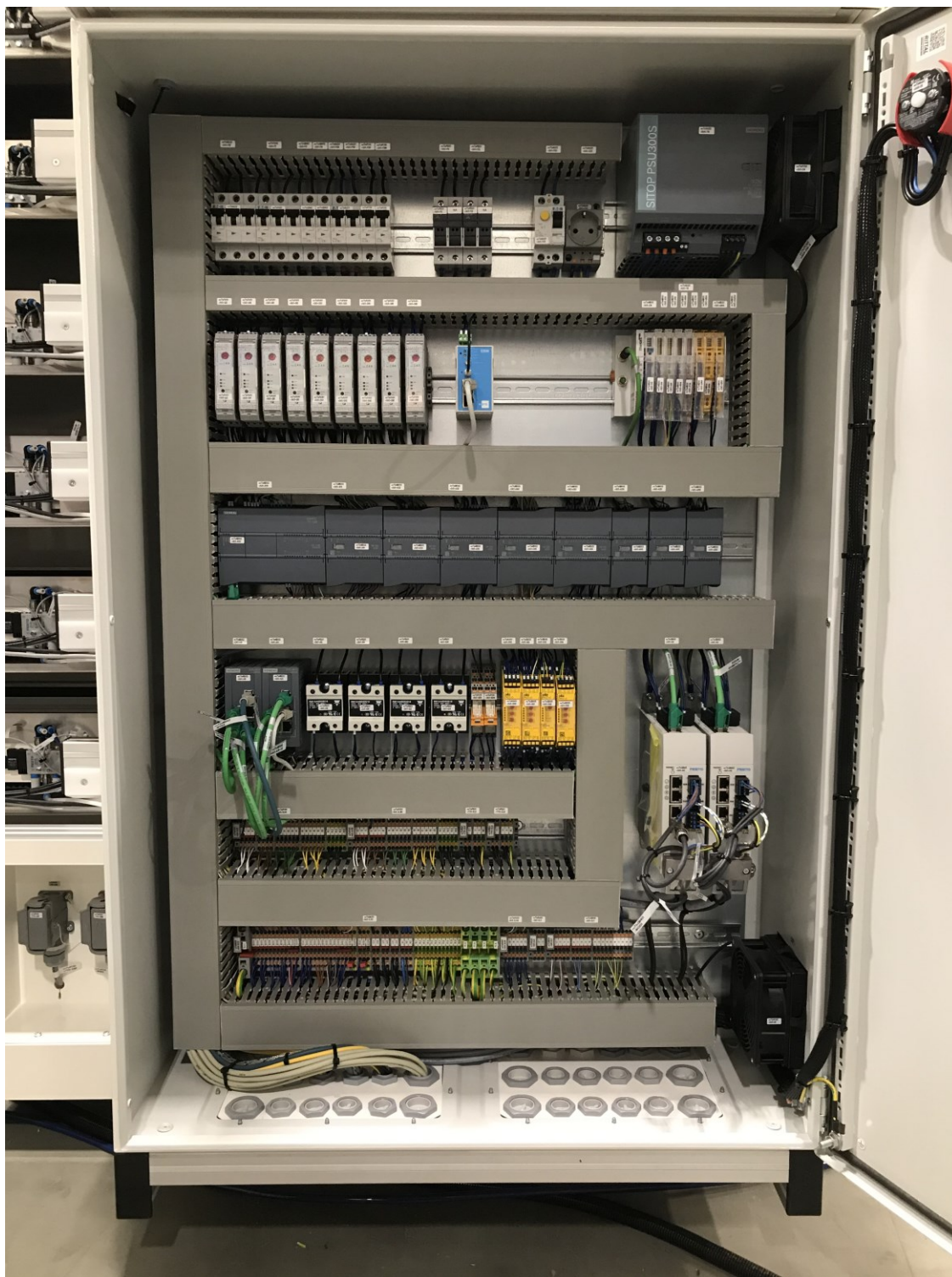
Obrázek 57 – Návrh rozmístění senzorů a akčních členů [archiv autora]



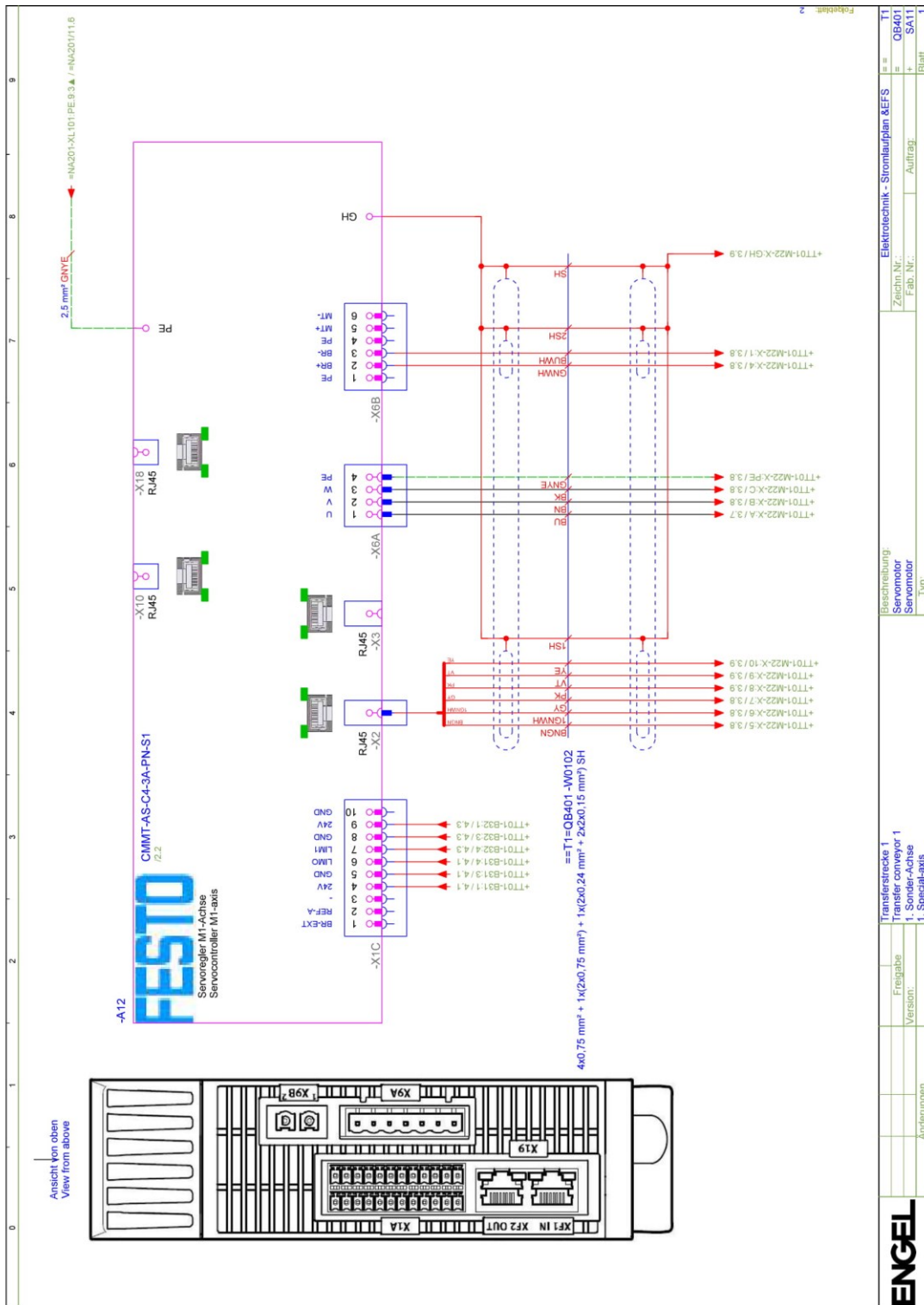
Obrázek 58 – Odkládací a odebírací pozice robota [archiv autora]



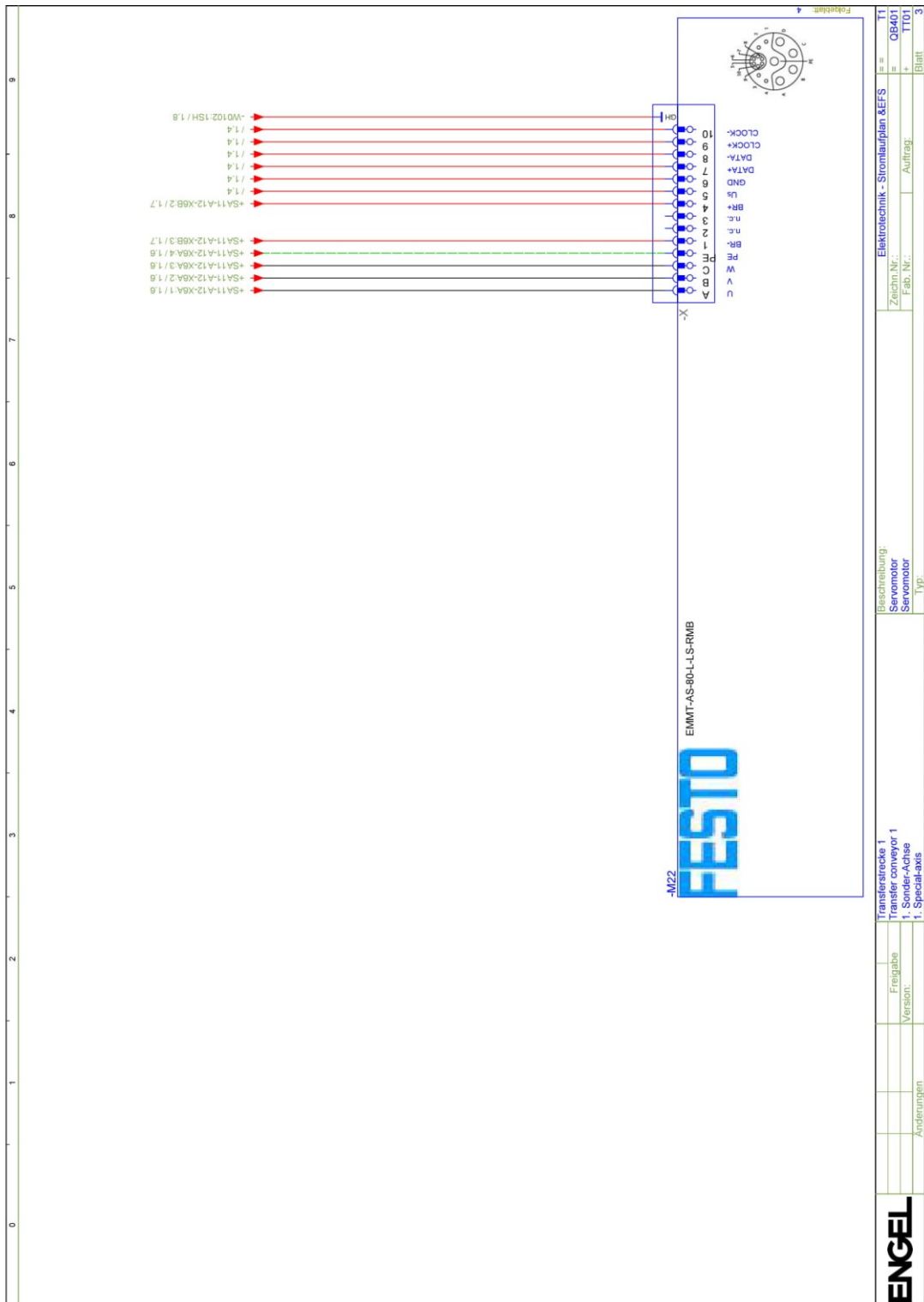
Obrázek 59 – Návrh rozvaděčové skříně [archiv autora]



Obrázek 60 - Zapojení rozvaděčové skříňe [archiv autora]



Obrázek 61 – Návrh zapojení servo ovladače CMMT I [archiv autora]



Obrázek 63 – Návrh zapojení servo motoru EMMT-AS [archiv autora]



Obrázek 64 – Návrh zapojení pneumatických okruhů [archiv autora]



Obrázek 65 – Ukázka vizualizace – servisní menu [archiv autora]



Obrázek 66 – Ukázka vizualizace – Osa 2 [archiv autora]

Příloha B – Zdrojový kód funkčního bloku STD_FB_Mode

```
FUNCTION_BLOCK "STD_FB_Mode"
TITLE = Operation mode
{S7_Optimized_Access:= 'TRUE'}
AUTHOR: '14002041'
FAMILY: Systemic
VERSION: 0.1
//Standard block for setting operation mode.

VAR_INPUT
IN_Error : Bool;
IN_AutRobot : Bool;    // The signal "Automatic mode" from the robot
IN_PBAutOperator : Bool;    // The Signal for automatic mode start/stop from the push button
                        // on the operator's panel
IN_PeriHome : Bool;    // The periphery in home position
IN_Input1 : Bool;    // The tag - Axis 1 is homed
IN_Input2 : Bool;    // The tag - Axis 2 is homed
END_VAR

VAR_OUTPUT
OUT_ReqAutStop : Bool;    // Request to stop automatic mode
OUT_ReqManStop : Bool;    // Request to stop manual mode
END_VAR

VAR_IN_OUT
INOUT_Mode : USInt := 0;    // The mode is set automatically when the
                        // machine is restarted to value 0 - Initialization mode
END_VAR

VAR
Automat : Bool; // Automatic mode
Manual : Bool; // Manual mode
Service : Bool; // Service mode
HMI_PBAutMode : Bool;    // The signal automatic mode start from the push button on the
                        // HMI
HMI_PBManMode : Bool;    // The signal manual mode start from the push push button on
                        // the HMI
HMI_PBSerMode : Bool;    // The signal service mode start from the push button on the HMI
ReqAutStop : Bool;    // Request to stop automatic mode
ReqManStop : Bool;    // Request to stop manual mode
R_TRIG_AutRobot {InstructionName := 'R_TRIG'; LibVersion := '1.0'} :
R_TRIG;
F_TRIG_AutRobot {InstructionName := 'F_TRIG'; LibVersion := '1.0'} :
F_TRIG;
R_TRIG_PBAutOperator {InstructionName := 'R_TRIG'; LibVersion := '1.0'} :
R_TRIG;
R_TRIG_HMI_PBAutMode {InstructionName := 'R_TRIG'; LibVersion := '1.0'} :
R_TRIG;
R_TRIG_HMI_PBManMode {InstructionName := 'R_TRIG'; LibVersion := '1.0'} :
R_TRIG;
```

```

R_TRIG_HMI_PBSerMode {InstructionName := 'R_TRIG'; LibVersion := '1.0'} :
R_TRIG;
END_VAR
BEGIN
(
*****
Operation mode – Standard block for setting operation mode - V0.1
Released:
2021/01/10 - 14002041- STD block V0.1
Modification:
YYYY/MM/DD – Per.Nm. - Text of modification
*****
)
REGION Rising edge
//Detection of positive signal edges
#R_TRIG_AutRobot(CLK := #IN_AutRobot); //signal automat start from robot
#R_TRIG_PBAutOperator(CLK := #IN_PBAutOperator); //signal automat start/stop HMI
#R_TRIG_HMI_PBAutMode(CLK := #HMI_PBAutMode); //signal automat start/stop HMI
#R_TRIG_HMI_PBManMode(CLK := #HMI_PBManMode); //signal semiautomat start/stop HMI
#R_TRIG_HMI_PBSerMode(CLK := #HMI_PBSerMode); //signal service start/stop HMI
END_REGION

REGION Negative edge
//Detection of negative signal edges
#F_TRIG_AutRobot(CLK := #IN_AutRobot); //signal automat stop from robot
END_REGION

REGION Timers
//Timers
//
END_REGION

REGION Counter
//Counters
//
END_REGION

//-----
//Setting operation mode
//-----
//
REGION Automat
// <Operation mode – Automat>
//Automat is started by rising edge of signal "IN_AutRobot" from robot or "IN_PBAutOperator"
from operator.
//If automatic mode is active and negative edge of signal "IN_AutRobot" or rising edge of signal
//"IN_PBAutOperator" is detected then automatic mode is aborted as soon as device reach home
//position.
//Automatic mode is blocked by error input.
IF ((#INOUT_Mode = "C_MODE_READY") AND ((#R_TRIG_AutRobot.Q) OR
(#R_TRIG_PBAutOperator.Q) OR (#R_TRIG_HMI_PBAutMode.Q))) AND
#IN_Input1 AND #IN_Input2 THEN
#Automat := 1;
END_IF;

```



```
IF ((#INOUT_Mode = "C_MODE_AUTOMAT") AND ((#F_TRIG_AutRobot.Q) OR
(#R_TRIG_PBAutOperator.Q) OR (#R_TRIG_HMI_PBAutMode.Q))) THEN
#ReqAutStop := 1;
END_IF;
```

```
IF (#ReqAutStop AND #IN_PeriHome) OR #IN_Error THEN
#Automat := 0;
END_IF;
```

```
IF (#INOUT_Mode <> "C_MODE_AUTOMAT") THEN
#ReqAutStop := 0;
END_IF;
END_REGION
```

REGION Manual

//<Operation mode - Manual>

//Manual is started by rising edge of signal "IN_ManOper" from operator.

//If manual mode is active and falling edge of the signal "IN_ManOper" is detected then manual
//mode is aborted as soon as device reach home position.

//Manual mode is blocked by error input.

```
IF ((#INOUT_Mode = "C_MODE_READY") AND (#R_TRIG_HMI_PBManMode.Q))
AND #IN_Input1 AND #IN_Input2 THEN
#Manual := 1;
END_IF;
```

```
IF ((#INOUT_Mode = "C_MODE_MANUAL") AND (#R_TRIG_HMI_PBManMode.Q)) THEN
#ReqManStop := 1;
END_IF;
```

```
IF (#ReqManStop AND #IN_PeriHome) OR #IN_Error THEN
#Manual := 0;
END_IF;
```

```
IF (#INOUT_Mode <> "C_MODE_MANUAL") THEN
#ReqManStop := 0;
END_IF;
END_REGION
```

REGION Service

//<Operation mode - Service>

//Service mode is started by rising edge of signal "IN_SerOper" from operator.

//If service mode is active and falling edge of the signal "IN_SerOper" is detected then service
//mode is aborted.

//Service mode is NOT blocked by error input.

```
IF (((#INOUT_Mode = "C_MODE_READY") OR (#INOUT_Mode =
"C_MODE_ERROR")) AND (#R_TRIG_HMI_PBSerMode.Q)) THEN
#Service := 1;
END_IF;
```

```
IF (#INOUT_Mode = "C_MODE_SERVICE") AND (#R_TRIG_HMI_PBSerMode.Q) THEN
#Service := 0;
END_IF;
END_REGION

//-----
//Setting condition - constants
//-----
//
//"C_MODE_INIT" - this mode is setting automatically after the machine restarted
IF (#INOUT_Mode <> "C_MODE_INIT") THEN

//"C_MODE_READY" - this mode is automatically setting every time device switch between modes
#INOUT_Mode := "C_MODE_READY";

//"C_MODE_AUTOMAT" - automatic mode
IF #Automat THEN
#INOUT_Mode := "C_MODE_AUTOMAT";
END_IF;

//"C_MODE_MANUAL" - manual mode
IF #Manual THEN
#INOUT_Mode := "C_MODE_MANUAL";
END_IF;

//"C_MODE_SERVICE" - service mode
IF #Service THEN
#INOUT_Mode := "C_MODE_SERVICE";
END_IF;

//"C_MODE_ERROR" - error mode
//If service mode is active, then error mode is blocked.
IF #IN_Error AND (NOT #Service) THEN
#INOUT_Mode := "C_MODE_ERROR";
END_IF;

END_IF;

//-----
//Forward signals to output
//-----
//
//Information to terminate automatic mode
#OUT_ReqAutStop := #ReqAutStop;
//Information to terminate manual mode
#OUT_ReqManStop := #ReqManStop;
END_FUNCTION_BLOCK
```