VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉHO VÝROBNÍHO SYSTÉMU PRO BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ

DIGITAL COMMISSIONING OF A ROBOTIC PRODUCTION SYSTEM FOR SPOT WELDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Antonín Hradil

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Bc. Antonín Hradil**
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Digitální zprovoznění robotizovaného výrobního systému pro bodové svařování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stále aktuálním cílem průmyslu je zvyšování produktivity práce a jakosti výroby. Možností jak tohoto cíle dosáhnout je robotizace rutinních činností. Tato práce se zaměřuje na virtuální zprovoznění pracoviště bodového svařování plechových dílů.
Cílem práce je zjistit aktuální stav v oblasti virtuálního zprovoznění robotizovaných svařovacích pracovišť a provést takovéto zprovoznění pro daný případ.

Cíle diplomové práce:

Rešerše.
Rozbor a popis pracoviště.
Propojení simulace v Process Simulation a PLC
Simulace.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-23957-4

HORNBERG, Alexander. Handbook of Machine Vision. 1. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. ISBN 978-3-527-40584-8

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá virtuálním zprovozněním poloautomatického robotického pracoviště, určeného k bodovému svařování. Vstupním bodem práce byl virtuální model výrobního systému, který byl využíván pouze k off-line testování robotických operací. Cílem této práce je popsat fungování zadaného pracoviště, a poté jej virtuálně oživit, jak v rovině simulační, tak z pohledu řídícího kontroléru PLC.

ABSTRACT

This thesis deals with the virtual commissioning of a semi-automatic robotic workstation designed for spot welding. The starting point of the work was a virtual model of the production system, which was used only for off-line testing of robotic operations. The aim of this work was to describe the functionality of the specified workstation, and then to bring it virtually to life both in the simulation plane and from the perspective of the PLC controller.

KLÍČOVÁ SLOVA

Virtuální zprovoznění, TIA Portal, Process Simulate, Tecnomatix, PLCSIM Advanced, Frekvenční měnič, Robotické pracoviště pro bodové svařování

KEYWORDS

Virtual commissioning, TIA Portal, Process Simulate, Tecnomatix, PLCSIM Advanced, Variable Frequency Drive, Robotic Workstation for spot welding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRADIL, Antonín. *Digitální zprovoznění robotizovaného výrobního systému pro bodové svařování* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149867. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za veškerou pomoc a rady při zpracovávání této práce.

Dále bych chtěl především poděkovat rodinně za neutuchající podporu, pomoc a pevné nervy.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, PhD. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.05.2023 ……

Hradil Antonín

OBSAH

1 ÚVOD

V současné době se globálně setkáváme s nedostatkem personálu ve všech odvětvích průmyslu. Z toho důvodu se klade stále vyšší důraz na vývoj technologií umožňujících využívat plně automatizovaný provoz s minimálním množstvím obslužného personálu. Takový provoz je většinou tvořen multifunkčními roboty a manipulátory.

Kromě návrhu samotné výrobní linky je také tlak zákazníků na jeho výrobní pružnost. Jelikož se technologie rychle vyvíjí, je nutné relativně často upravovat výrobní buňky dle nového typu vstupního polotovaru. Aby byl tento proces co nejrychlejší, nejefektivnější a nejlépe předem otestovaný, je snaha vytvářet 3D virtuální modely, které téměř dokonale simulují reálné pracoviště, na nichž je možné vše vyzkoušet a doladit.

Tato práce se zabývá virtuálním zprovozněním poloautomatického robotického pracoviště, určeného k bodovému svařování. Vstupním bodem práce byl virtuální model výrobního systému, který byl využíván pouze k off-line testování robotických operací. Cílem této práce je popsat fungování zadaného pracoviště, a poté jej virtuálně oživit, jak v rovině simulační, tak z pohledu řídícího kontroléru PLC.

V rešeršní části práce proběhne seznámení se současným stavem virtuálního zprovoznění a prvků, které se k němu váží. Následně bude proveden rozbor jednotlivých článků pracoviště, a tím bude zajištěn komplexní pohled na fungování pracoviště.

Poté bude možné provést samotné virtuální zprovoznění pracoviště (všech signálových struktur a pohybových animací) i kontroléru (řídícího PLC a kontrolního HMI obsluhy). K virtuálnímu zprovoznění budou v práci využity softwary firmy Siemens, Process Simulate (pracoviště) a TIA Portal (kontrolér), které budou po vzájemném propojení simulovat chování reálného pracoviště.

2 MOTIVACE

S rychle se měnícími trendy v průmyslu se můžeme velmi často setkat s požadavkem na úpravu provozovaného pracoviště, určeného ke zpracování jednoho typu polotovaru tak, abychom mohli v co nejkratším čase zpracovávat polotovar jiný.

Virtuálním zprovozněním původně pouze fyzického robotického pracoviště získáváme v první řadě obrovskou výhodu flexibility pracoviště (schopnost rychle se adaptovat a měnit) a šetříme čas nutný k zavádění linky do provozu.

Při konvenční změně se můžeme potýkat se situacemi, kdy nové fyzické prvky neumožní provádět žádané operace (např. robotické) z důvodu chybně uvažovaných rozměrů součástí. Dále je také nutné ladit řídící program přímo na místě, např. z důvodu neočekávaných vnějších vlivů na pracovišti. Při testování fyzických komponent a řídícího programu přímo ve virtuálně zprovozněném modelu jsme schopni se celé řadě běžně nepředvídatelných komplikací vyhnout, či jejich možnost výskytu eliminovat. I přesto, že virtuální zprovoznění zabere dost času, jsme díky němu schopni značně ušetřit čas zavádění do provozu, v celkovém měřítku i celkový čas realizace projektu, a tím ušetříme i značné finanční náklady.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

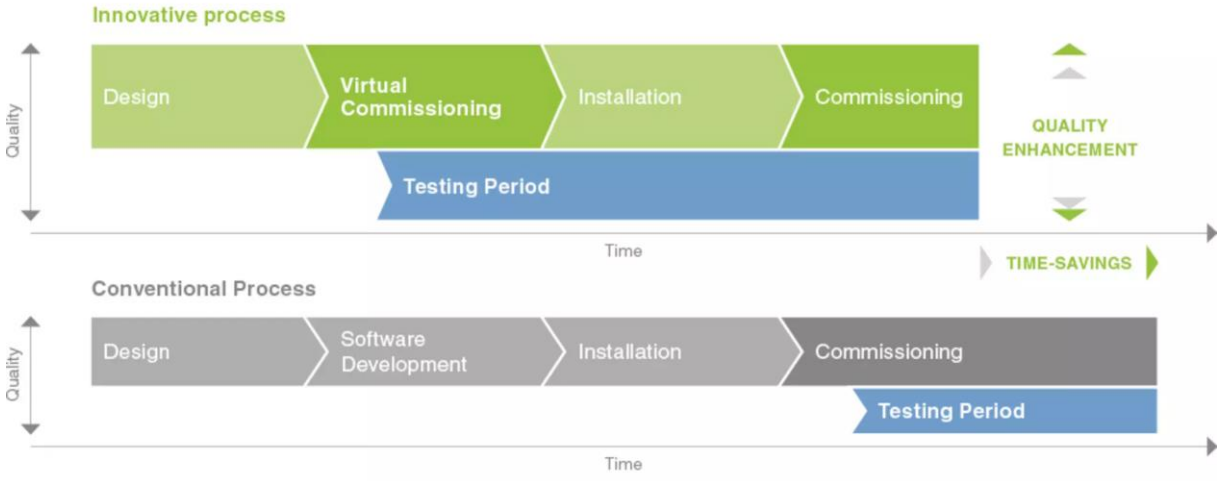
3.1 Virtuální zprovoznění

V současné době se setkáváme s moderními technologiemi na každém kroku a výjimkou není ani běžně stereotypní průmysl. Nedostatek personálu, nejistota a nespolehlivost nutí všechny světové firmy přecházet k plně automatizovaným výrobním linkám a k jejich využití ve svých výrobních závodech.

Proces návrhu jakéhokoliv automatizovaného pracoviště je v zásadě rozdělen na několik fází. Práce se zaměřuje na fázi poslední – uvedení do provozu. Tato část se standardně odhaduje na cca 25 % celkového času procesu, ale často se může výrazně zvýšit například z důvodu špatně navrženého softwaru. S vývojem technologií se snažíme v současné době rapidně urychlit fázi uvedení do provozu a díky virtuálnímu zprovoznění minimalizovat chybovost a rizika.

Jedná se o virtuální simulaci odpovídající reálnému fungování linky. Tradiční zprovoznění vyžaduje testování programů a prvků linky fyzicky u stroje. Nevýhodou jsou stísněné prostory, špatná viditelnost a nebezpečí škod vlivem nepozornosti. Výhodou virtuálního zprovoznění je testování a ladění programu PLC (Programmable Logic Controller), robotického programu a všech signálových struktur.

Uvedení do provozu s sebou nese také obrovskou výhodu pružnosti celého pracoviště. Při plánování malých či velkých změn linky je možné předpřipravit a doladit všechny potřebné programy a prvky pracoviště paralelně s chodem aktuální linky. Díky tomu se minimalizují prostoje všech prvků linky a tím i finanční náklady.



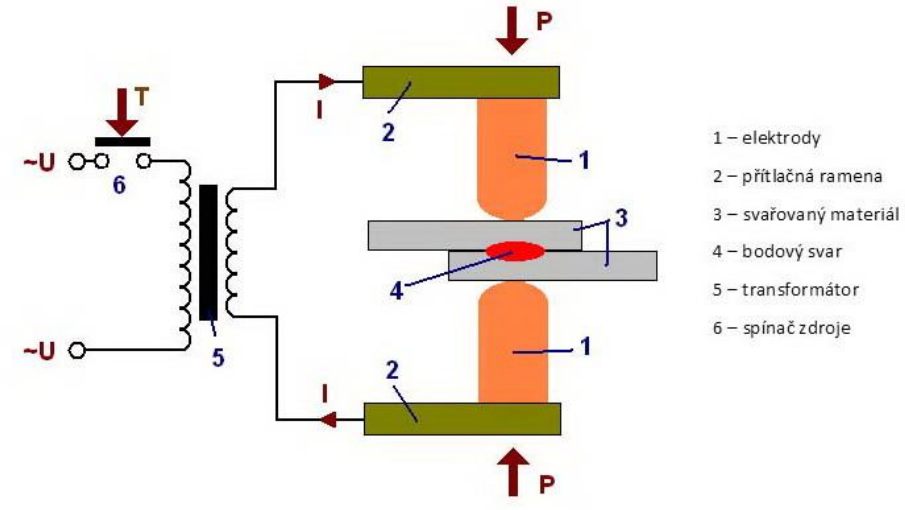
Obr. 1 - Moderní vs. konvenční proces návrhu pracoviště [1]

3.2 Bodové svařování

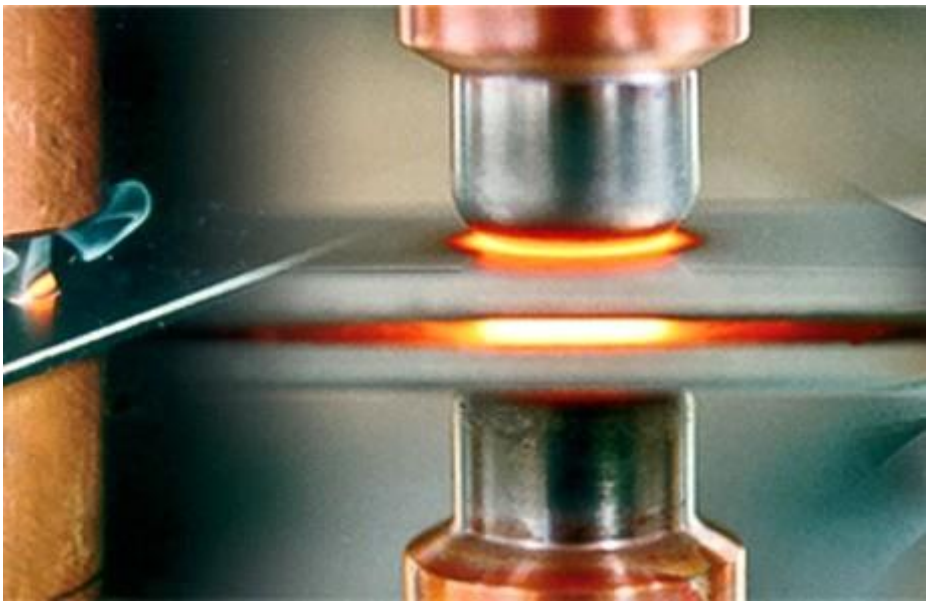
Svařování je jedna z nejdůležitějších technologií využívaných v průmyslu. V praxi se pak nejčastěji setkáváme s bodovým svařováním.

Jedná se o odporové svařování přeplátováním. Využití nachází převážně u spojování tenkých plechů a funguje velmi jednoduše. Na požadované místo svaru přimáčkneme dvě elektrody připojené k napájecímu napětí. Elektrody jsou nejčastěji tvořeny z mědi s vysokou

vodivostí elektrického proudu. Při nárazovém průchodu velkého proudu skrze plechy s menší vodivostí (vysokým odporem) dochází k okamžitému nárůstu teploty. Částečným natavením plechu a vlivem působení úchopného tlaku, dojde k lokálnímu tepelnému spojení plechů svařením.



Obr. 2 – Princip bodového svařování [2]



Obr. 3 – Detail reálného bodového svařování [3]

Výhody bodového svařování:

- Pouze lokální teplotní změna, minimální ztráty a účinky tepla v tělese
- Rychlost procesu
- Nízké náklady

3.3 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty si v posledních dekádách nachází vyšší a vyšší uplatnění. Důvodem je opakovatelnost, přesnost, rychlost, stabilita, flexibilita, nedostatek operátorů, a v neposlední řadě možnost pracovat v non-stop provozu. Nevýhodou je zaváděcí cena, odbornost obsluhy, závislost na zdroji elektrické energie a odstávka při poruše.

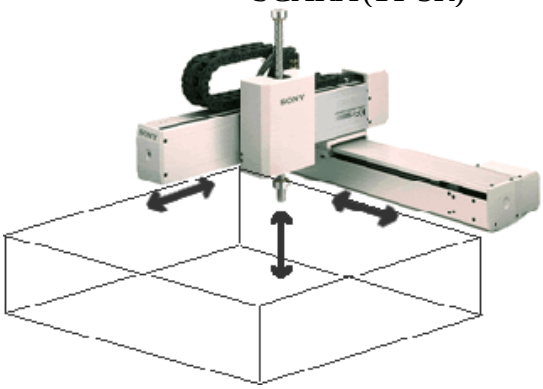
Výběr robota závisí na typu výrobního systému, požadovaných operacích robotu, potřebné nosnosti a množství požadovaných cyklů.

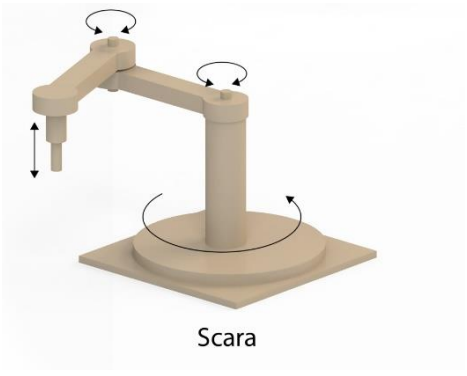
Robot je možné osadit neomezeným množstvím koncových efektorů v závislosti na typu vykonávaných operací. Také může mít tzv. dual-tool, kdy jsou na robotu například umístěny dva koncové efektory, odkloněny o 45°. Takovéto nástroje se běžně vyskytují u operací, kdy robot zaměňuje hotový díl za polotovar v jedné operaci a urychluje tak takt výroby.

Obr. 4 – Robot osazen s dual-tool [4]

Rozdělení podle konstrukce:

- Karteziánské (Tx, Ty, Tz)
    - SCARA (1T 3R)





a) *b)*

Obr. 5 – a) Karteziánský robot, b) SCARA robot [5] [6]

- Kloubové (0T)
- Dvouramenné
- Šestiosé (6R)

a) *b)*

Obr. 6 – a) Šestiosý robot, b) Dvouramenný robot [7] [8]

- Delta (3R)

Obr. 7 – Delta robot [9]

Rozdělení dle využití:

- Svařovací
- Lakovací
- Paletizační
- Montážní

Mezi nejpoužívanější typ robotů patří šestiosý, SCARA nebo delta, a nachází uplatnění ve všech odvětvích, například v průmyslu, potravinářství, farmacii aj.

Největší výrobci průmyslových robotů:

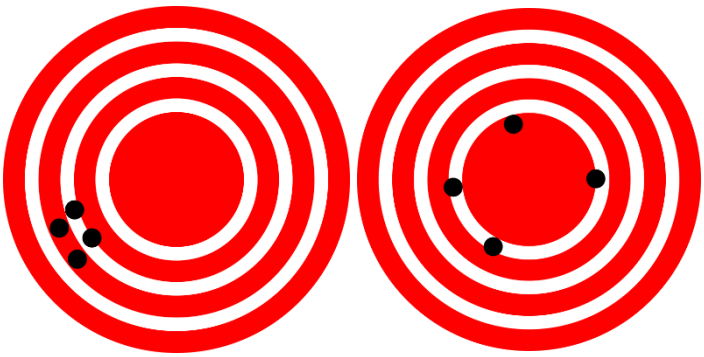
- FANUC
- ABB
- Kawasaki Robotics
- KUKA
- Yaskawa

Nejdůležitější parametry:

- Počet os

- Kinematika
- Dosah
- Nosnost
- Dynamika
- Opakovatelnost
- Přesnost

Přesnost a opakovatelnost jsou dvě rozdílné vlastnosti, ale obě jsou pro praktické využití robotů klíčové. Při vysoké opakovatelnosti a nízké přesnosti získáváme trvalou přesnou odchylku od žádané polohy. Obráceně získáváme přesnou polohu, ale s odchylkou v rádiu kolem žádané hodnoty. Obě hodnoty se u robotů měří za dodržení normy ISO 9283.



Obr. 8 – a) Vysoká přesnost, b) Vysoká opakovatelnost [10] [11]

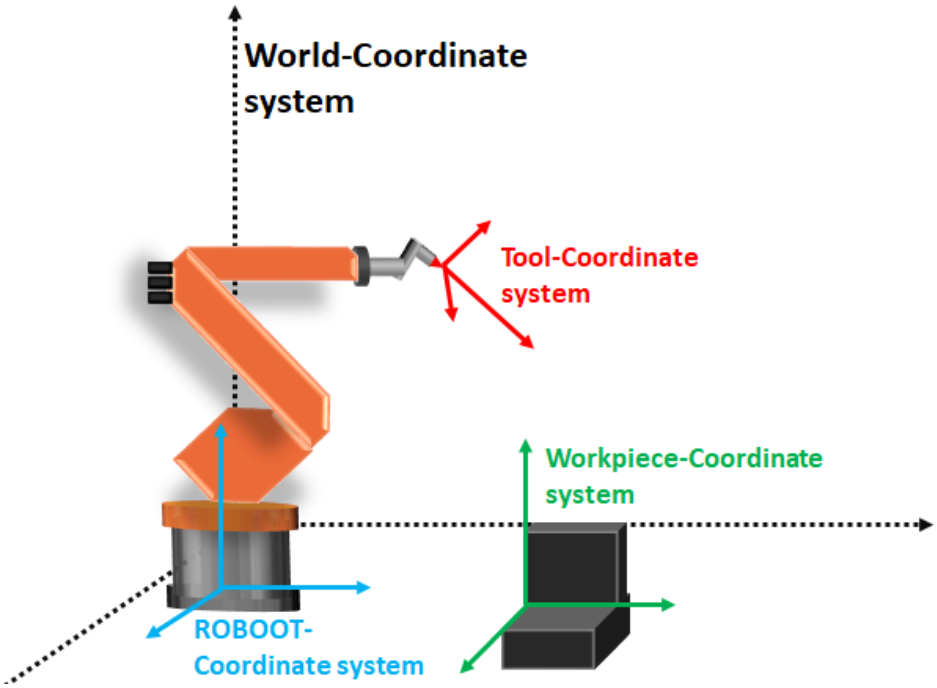
V malých jednoduchých aplikacích s cyklicky opakujícími se operacemi může robot fungovat i bez vyššího ovládání formou PLC. Při nasazení do složitějších linek jsou roboty řízeny skrze PLC, obsahující všechny potřebné signály a řídící programy celé linky.

3.3.1 Definování souřadného systému a pohybových instrukcí robotu

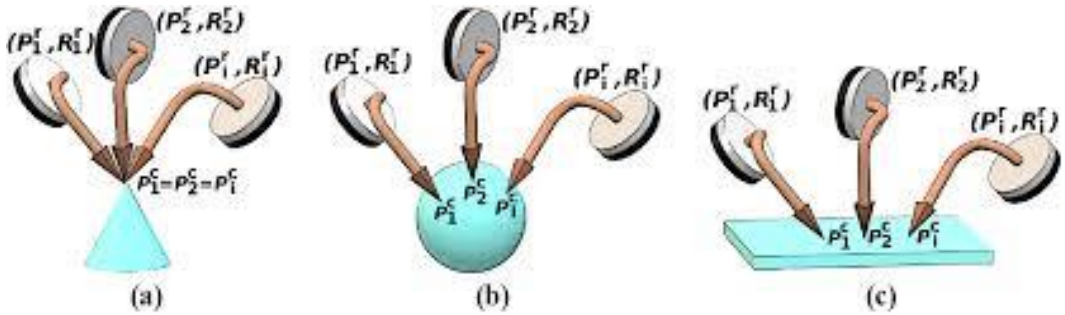
Prvním krokem před programováním je kontrola **souřadných systémů (SS)**. Nejdůležitějšími jsou Tool Center Point (TCP/Pracovní bod nástroje), World Coordianate System (WCS/Systém svět), Base Coordiante System (BCS/Systém báze robotu) a World Object Frame (WOF/Sytém objektu).

WCS a BSC jsou standardně dané od výrobce, WCS je pak možné měnit. TCP je nejdůležitější souřadnicový systém pro výpočetní hardware robotu, zajišťující správné chování inverzní kinematiky. Pokud nemá robot připojený koncový efektor, nachází se TCP ve středu příruby robotu. Po mechanickém zapojení efektoru je nutné zadat údaje efektoru do kontroléru. Při použití efektoru na zakázku od externí firmy známe předběžnou hodnotu TCP, ale v každém případě se doporučuje provést zaměření TCP přímo na místě instalace pomocí jedné z ověřených metod.

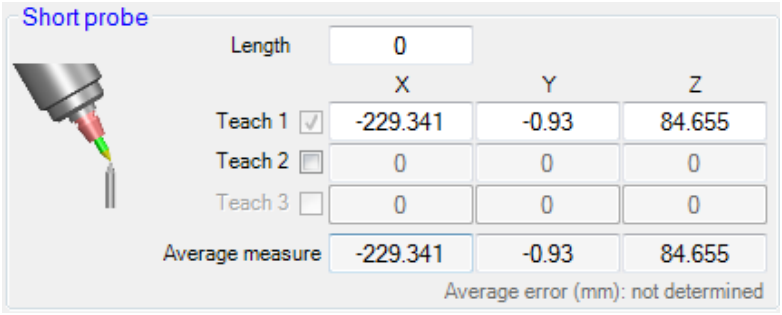
První z metod je X-bodová. Jedná se o manuální optickou metodu, kdy koncový efektor najíždí z různých uhlů k testovacímu ostnu. Minimum nutných bodů k zaměření jsou tři, čím více jich ovšem využijeme, tím získáváme přesnější hodnotu TCP. Jedná se o levnou metodu určenou k zaměření robota s nízkými požadavky na přesnost.



Obr. 9 – Souřadné systémy robotu [12]



Obr. 10 – X-bodové metody zaměření TCP [13]



Obr. 11 – X-bodová metoda v programu ABB RobotStudio [14]

Druhou metodou je kalibrace pomocí laserů. Jedná se o automatickou, velmi přesnou metodu, určenou jak k zaměřování, tak i ke kontrole aktuálního stavu TCP. Nevýhodou je vysoká cena.

a) *b)*

Obr. 12 – a) Princip laserového zam. TCP, b) Reálný stojan zaměření TCP [15] [16]

Dalšími velmi užitečnými souřadnými systémy jsou WCS (SS součásti) a UCS (uživatelský SS). Každá součást má jak ve virtuálním zprovoznění, tak v reálném světě svůj SS. Díky němu můžeme propojit veškeré operace spojené s touto součástí s jejím SS, a při jakékoli změně rozložení pracoviště stačí obsluze (nebo strojovému vidění) znovu zaměřit pouze jeden bod (SS) a všechny body se přesunou s ním.

Podobným způsobem funguje UCS. Nejčastěji se zaměřuje roh stolu nebo upínací plochy, a při změně polohy dojde k přeskupení všech operací a bodů spojených s tímto centrálním bodem.

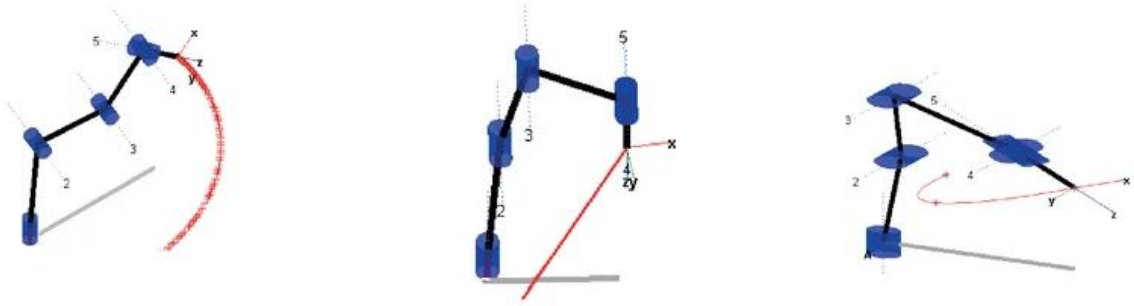
```
!# ---------------------------------------------
!# ------ TOOL DATA
!# ---------------------------------------------
  PERS tooldata gRIPPER:=[TRUE,[[0,0,99],[1,0,0,0]],[5,[-24.94,-24,94.67],[1,1,0,0],0,0,0]];

!# ---------------------------------------------
!# ------ WOBJ DATA
!# ---------------------------------------------
  PERS wobjdata Wobj_dopr_vys:=[FALSE,TRUE,"",[[-424.69,-337.53,185.98],[0.707107,0.000006,-0.000006,0.707107]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
  PERS wobjdata Wobj_mer_stan:=[FALSE,TRUE,"",[[475.27,-62.99,-14],[1,0.000005,0,0]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
  PERS wobjdata Wobj_dopr_niz:=[FALSE,TRUE,"",[[-359.1,134.36,48.5],[0.707107,0.000006,-0.000006,0.707107]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
```

Obr. 13 – Definování bodů a souřadných systémů robotu ABB

Na obr. 13 můžeme vidět ukázku zadání SS v kontroléru firmy ABB.

Při jakémkoliv plánování pohybu robotu je nutné určit, jakým způsobem se bude robot pohybovat (**Pohybové instrukce**). Mezi základní typy pohybu patří Linear (lineární dráha), Point-to-Point (logicky nejkratší cesta, ne vzdálenostně nejkratší) a Circular/Arch (kruhová interpolace).



Obr. 14 – Typy pohybových instrukcí robotu [17]

3.3.2 Programování

Programování robotů je možné skrze přiložený **Teach pendant**, ale v případě středních až větších projektů je možné a vhodné robotický program vytvářet ve **specializovaných softwarech**. Programovací interface a struktura pracuje na stejném principu jako standardní textové programování. Je možné používat standardní struktury (IF, ELSE, CASE, WHILE, atd). Hlavním rozdílem je volání operací, které funguje na stejném principu jako u PLC. Robot vyvolává vždy program MAIN a prochází program řádek po řádku (při nesplnění podmínky jednoho řádku se zde čtení celého programu zastaví). Z toho důvodu dělíme program do podprogramů, které vyvoláváme určitým signálem v MAIN.

Softwary mohou být určeny buď jen pro určitou značku robota, jako například ABB RobotStudio či KUKA.Sim, nebo univerzální, například Process Simulate. Značkové softwary mají výhodu virtuálního zprovoznění samotného ovládacího kontroléru s vnitřní signálovou strukturou, a tím umožňují simulovat roboty kompletně. Nevýhodou je pak nemožnost kombinování dvou a více robotů jiné značky.

Samotný robotický program se liší od výrobce. Každá řídící jednotka má svou vlastní syntax povelových instrukcí, ale odlišnost je vcelku nízká.

Poté, co jsou zadány informace o koncovém efektoru a souřadných systémech, začíná proces programování. Body, mezi kterými se má robot pohybovat, zadáváme různými způsoby: hodnotově, najetím robotu do bodu pomocí teach pendantu, nebo off-line programováním.

Obr. 15 – Teach pendant robotu KUKA [18]

```
LOCAL CONST robtarget HOME:=[[461,0,617],[0,0,1,0.000009],[-1,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
LOCAL CONST robtarget I_PICK:=[[99,-710,70.5],[0.000001,0,1,0],[-1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
LOCAL CONST robtarget PICK:=[[99,-710,40.5],[0.000001,0,1,0],[-1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
LOCAL CONST robtarget PICK_I:=[[99,-710,70.5],[0.000001,0,1,0],[-1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
LOCAL CONST robtarget PICK_II:=[[304.54,-929.96,36.01],[0.000001,0,1,0],[-1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
LOCAL CONST robtarget I_PLACE:=[[30,30,66],[-0.000003,0.707107,-0.707107,-0.000003],[-1,1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
LOCAL CONST robtarget PLACE:=[[30,30,36],[-0.000003,0.707107,-0.707107,-0.000003],[-1,1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
```

Obr. 16 – Definování bodu v robotickém kontroléru ABB

Na obr. 16 je vidět ukázka definovaných bodů v kontroléru firmy ABB.

Definice bodu:

- Local const
  - Definice proměnné – lokání konstanta
- Robtarget
  - Definice nové pozice
- HOME

- Pozice XYZ
- Orientace XYZ
- Konfigurace OS
- Pozice externích OS

Po vytvoření bodů se určí typ pohybu, kterým se bude robot do bodu pohybovat, a tím získáváme základní operaci. Operací typu **uchop, svař, nanášej**, poté docílíme zavoláním spouštěcího signálu a počkáním na odezvu, že operace byla/je prováděna.

Na obr. 17 vidíme ukázku MAIN programu, volající definované podprogramy v kontroléru firmy ABB a ukázku podprogramu OP_2. Obr. a) obsahuje strukturu MAIN programu volajícího podprogram na základě proměnné PNI_reqOp. Na obr b) je volaný podprogram, obsahující povelové a signálové instrukce.

U ostatních výrobců robotů se postupuje obdobně.

```
PROC main()
    Init;
    TEST PNI_reqOp
      CASE operace1:
          DoOperation operace1, "OP_1";

      CASE operace2:
          DoOperation operace2, "OP_2";

    ENDTEST

ENDPROC
```

a)

```
PROC OP_2()
   MoveJ HOME,v1000,fine,gRIPPER\Wobj:=wobj0;
   MoveJ I_VEZMI,v200,z10,gRIPPER\Wobj:=Wobj_mer_stan;
   MoveL VEZMI,v50,fine,gRIPPER\Wobj:=Wobj_mer_stan;

   Set GripperClose;
   WaitDI  GripperClosed, high;
   Reset GripperClose;

   MoveL VEZMI_I,v200,z0,gRIPPER\Wobj:=Wobj_mer_stan;
   MoveJ I_POLOZ,v200,z0,gRIPPER\Wobj:=Wobj_dopr_niz;
   MoveJ POLOZ,v50,fine,gRIPPER\WObj:=Wobj_dopr_niz;

   Set GripperOpen;
   WaitDI  GripperOpened, high;
   Reset GripperOpen;

   MoveJ POLOZ_I,v200,z10,gRIPPER\WObj:=Wobj_dopr_niz;
   MoveJ HOME,v1000,fine,gRIPPER\Wobj:=wobj0;
ENDPROC
```

b)

Obr. 17 – a) MAIN program robotu, b) Volaný podprogram

3.4 Tecnomatix Process Simulate

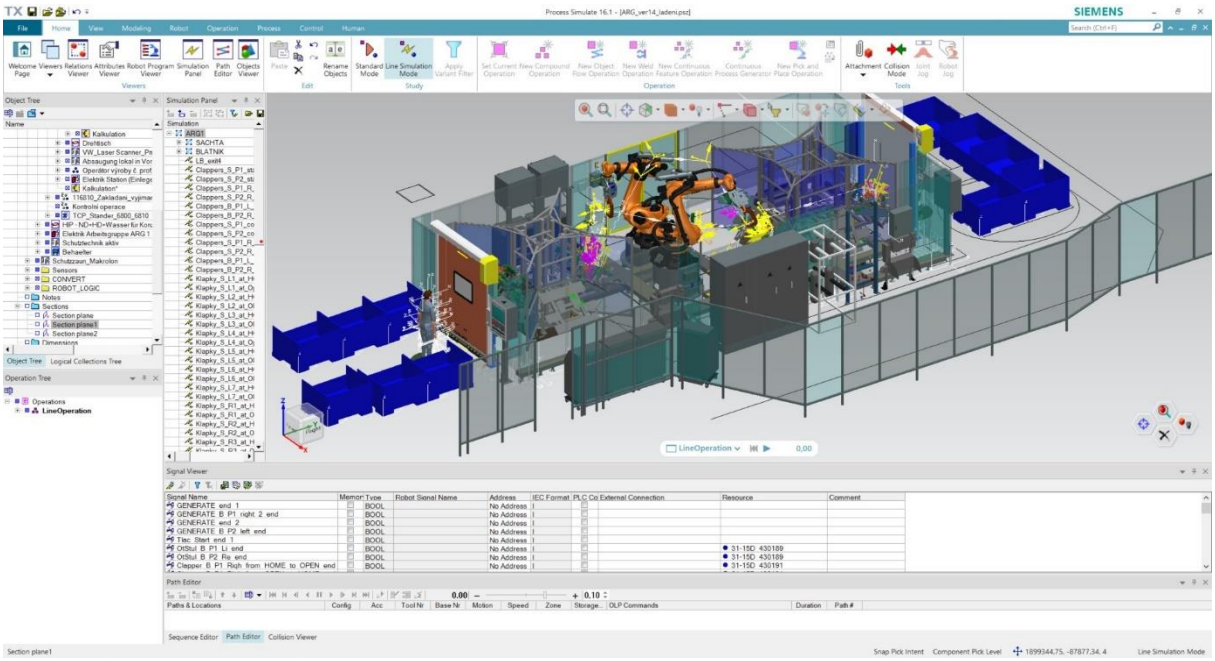
V současné době existuje celá řada softwarů, umožňujících simulaci procesů, potřebných pro virtuální zprovoznění. Velké firmy se zaměřením na automatizaci obvykle vyvíjí vlastí software. Mezi nejznámější patří software Process Simulate (zkr. PS) od firmy Siemens.

PS spolu se softwary Plant Simualation a Process Designer patří do skupiny softwarů Tecnomatix digitální továrna. Jedná se o komplexní řešení virtuální automatizace od firmy Siemens.

PS umožňuje detailně simulovat celý proces výrobní linky ve 3D prostředí. Využívá modely strojů, součástí a dodává jim potřebnou logiku k realizaci simulace, včetně vytváření potřebných signálů pro reálné fungování linky a simulování ergonomie obsluhy. Vytváří také univerzální program pro všechny typy robotů na základě definované verze kontroléru. Po vytvoření logiky je software následně možné provázat s PLC či virtuálním robotickým kontrolérem, a řídit signály externě jako v reálném prostředí.

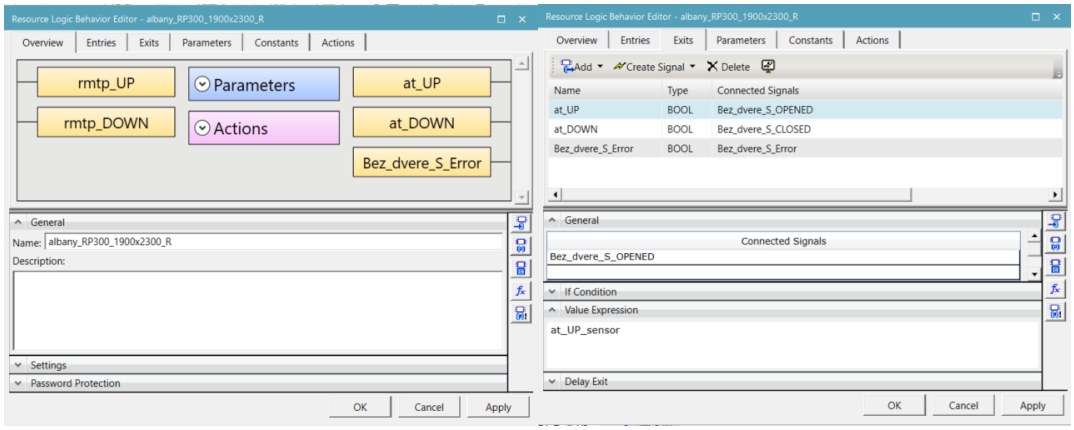
Interface softwaru PS je podobný jako u všech moderních aplikací. Horní část obrazovky je tvořena lištou s ovládacími prvky, rozdělenou do jednotlivých podskupin. Zbytek obrazovky si může uživatel uspořádat z jednotlivých oken dle vlastní potřeby. Nejdůležitějšími okny jsou v zásadě 3D pohled na tvořené pracoviště a strom využitých prvků.

Mezi další softwary určené k virtuálnímu zprovoznění dále patří například RobotStudio od firmy ABB, Kuka.Sim od firmy KUKA, DELMIA od firmy Dassault Systemes, a další.



Obr. 18 – Interface programu Process Simulate

Signály i signálovou logiku všech komponent tvoříme v tzv. **Logic Resource** editoru. Jedná se o programovací rozhraní určené k definování logiky dané součásti.



Obr. 19 - Ukázka fungování Logic Resource editoru v PS

3.5 PLC (programing logic controller)

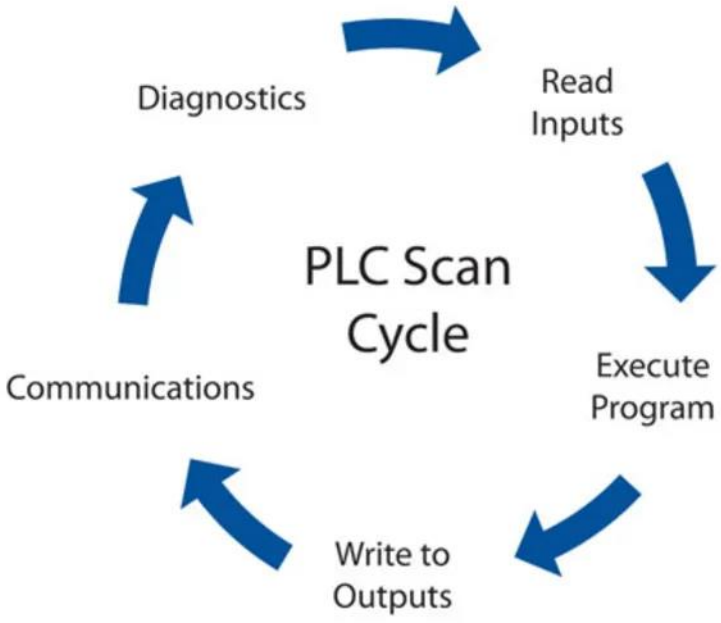
Téměř každý výrobní systém je ovládán skrze některý řídící systém. Dříve se jednalo o jednoduché spínače relé, ale s vývojem technologií byly relé vytlačeny tranzistory s rychlejšími spínacími rychlostmi a životností. Aktuálně se na trhu můžeme převážně setkat se čtyřmi typy řídících systémů. Jedná se o Programmable Logic Controller (PLC), Supervisor Control And

Data Acquisition (SCADA), Distributed Control Systém (DCS) a Human Machine Interface (HMI).

DCS vnikal paralelně s PLC a jsou si velmi podobné. Nachází uplatnění u řízení celých budov a velkých procesů. SCADA je software podobný počítačovým operačním systémům a může paralelně fungovat s PLC či DCS. Využívá se k monitorování všech dat pohybujících se procesem z mnoha zařízení a pomáhá odhalit chyby omezující proces. HMI je technologie určená ke grafickému znázornění a ovládání procesu pomocí odolné dotykové obrazovky, umístěné v blízkosti linky, kterou nejčastěji využívá obsluha. HMI je možné programovat a může fungovat samostatně. Většinou jsou ale z důvodu výpočetního výkonu vyžadovány běžící programy PLC či DCS, z kterých získáváme potřebné aktuální hodnoty proměnných, a následně posíláme rozkaz ke změně.

Nejpoužívanějším systémem průmyslové automatizace je **PLC**. Jedná se o malý počítač určený k řízení procesů v reálném čase s vysokou spolehlivostí, rychlou odezvou a bezpečností. Využití je především v průmyslu a v posledních letech i v domácí automatizaci.

Hlavním rozdílem mezi PLC a standardním stolním počítačem (PC) je forma vykonávání programu. PC funguje na bázi náhodného přístupu. To znamená, že vykonává žádaný program „paralelně“, nečeká například na dokončení FOR loopu, a podprogramy nemají pevně danou dobu k vykonání, což je v průmyslu nežádoucí (není možné čekat stovky milisekund na signál o poloze a otáčkách). Oproti tomu PLC pracuje ve smyčkách, což znamená, že program je vykonáván sekvenčně krok po kroku, a po vykonání jedné smyčky znovu načte aktuální hodnoty IO modulů a startuje od prvního řádku kódu. Nevýhodou je omezené využití smyček (program by se zasekl a nestihl by provést zbytek programu v maximálním možném čase jedné smyčky). Výhodou je možnost řízení procesů v reálném čase s minimální časovou odezvou.



Obr. 20 – Princip cyklů PLC [19]

Dalším rozdílem je uzpůsobení PLC ke zpracovávání velkého množství externích signálů z periférií a jejich řízení (stovky až tisíce). Většina PLC má základní modul pro digitální vstupy/výstupy (DI/DO) a analogové vstupy/výstupy (AI/AO) pro spojité signály. Dále je také

možné připojit komunikační karty a mnoho dalších podpůrných modulů (např. pro PWM - pulzní vlnovou modulaci).

Z hlediska konstrukce můžeme PLC rozdělit na dva základní typy – **kompaktní a modulární.**

Kompaktní se vyznačují omezeným množstvím přídavných modulů, po zakoupení si zákazník může dokoupit jen předem definované moduly a jejich množství. Využití těchto hardwarů je především u malých automatizací s malým množstvím I/O. Výhodou jsou pořizovací náklady.

a) *b)*

Obr. 21 – Kompaktní PLC a) LOGO! firmy SIEMENS, b) firmy E.T.N [20] [21]

Modulární oproti tomu nabízí možnost přikoupení téměř neomezeného množství rozšiřujících modulů a jejich kombinací. PLC se umístí na DIN lištu a moduly se připojují vedle něj zprava. Tento typ nalezneme ve většině velkých automatizovaných procesech. Další výhodou je také možnost připojení modulů na delší vzdálenosti. Pokud se například nachází velké množství signálů v jedné části linky, je možné I/O modul umístit blíže, tím ušetřit množství tažených kabelů, a následně samotný I/O modul připojit skrze jediný kabel.

a) *b)*

Obr. 22 – Modulární PLC a) bez roz. modulů, b) s moduly na DIN liště [22] [23]

Konstrukčně se PLC příliš neliší od PC, důraz je ovšem kladen na odolnost vůči prostředí, spolehlivost a stabilitu systému. Nejdůležitějšími komponentami jsou procesory.

Jádro řídícího systému (CPU) obsahuje většinou jeden hlavní procesor (master) a celou řadu sekundárních (slave). Společně zajišťují rychlé zpracování signálů a provádění programů.

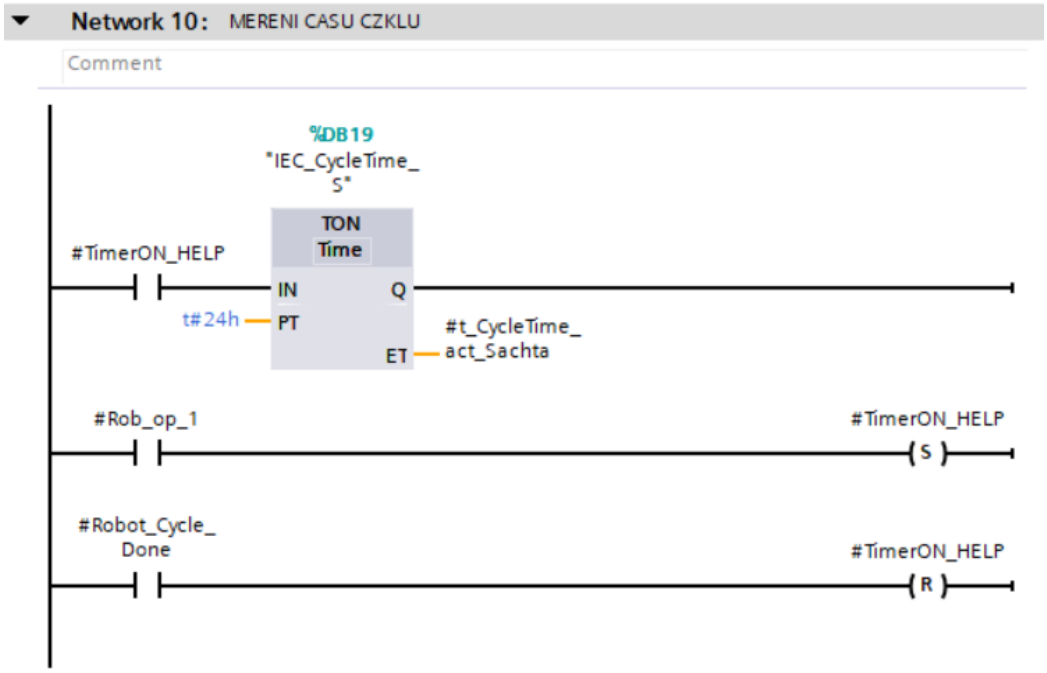
3.5.1 Programování PLC

V současně době většina PLC disponuje pěti programovacími jazyky, standardizovanými dle normy IEC 61131-3. Tato norma uvádí pět jazyků, z toho dva textové a tři grafické.

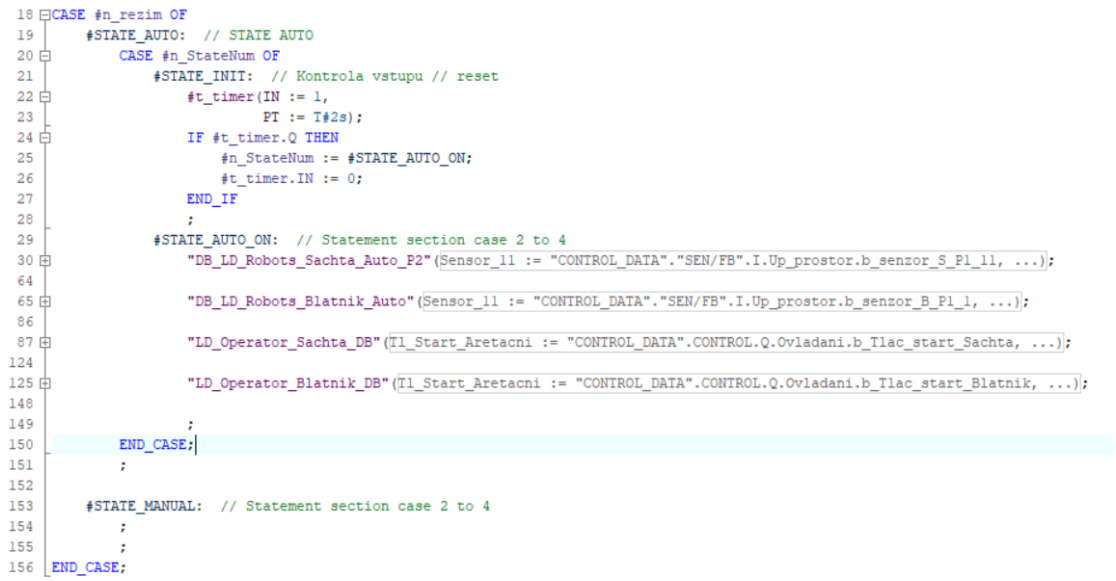
- Grafické
  - Ladder Diagram (LD, LAD)
  - Function Block Diagram (FBD)
  - Sequential Function (SFC)
- Textové
  - Structured Text (ST/SCL)
  - Instruction list (IL)

Při vývoji byly PLC navrhovány tak, aby je byli schopni obsluhovat a programovat i lidé bez zkušeností s tradičním programováním. Z toho důvodu byl jako první představen jazyk Ladder Diagram. Ten je spolu s FBD a SFC postaven na grafickém znázornění logiky. Výhodou je skvělá interpretace fungování řídících programů pro ne-programátory.

Výhodou je přehlednost, grafické barevné znázornění simulace a jednoduchost tvořené logiky. **Nevýhodou** je složité tvoření komplikovaných funkcí, ztráta přehlednosti u programů s velkým množstvím vstupů, a tím pádem větší důraz na optimalizaci podprogramů.



Obr. 23 – Ukázka větve vytvořené v jazyku Ladder Diagram



Obr. 24 - Ukázka větve vytvořené v jazyku Structured Text (Strukturovaný text)

Druhý nejpoužívanější programovací jazyk je Strukturovaný text (ST/ Structured text). Jedná se o standardní textové programování. Výhodou je komplexní programování. Nevýhodou je nepřehlednost a špatná interpretace, programátor musí přemýšlet o čitelnosti kódu z pohledu třetí osoby, jinak se stává do budoucna jedinou osobou, která je schopna program modifikovat.

PLC se standardně programují, simulují a testují na konvenčních PC pomocí specializovaných softwarů. Po dokončení testování lze program nahrát na interní úložiště PLC (flash paměť nebo RAM) skrze síť, flash disk nebo SSD.

3.5.2 Komunikace

PLC běžně využívá celou řadu komunikačních **portů**, tzn. USB, Ethernet, RS – 232, RS – 485, RS – 422, či další dle požadavků zákazníka.

Porty přenáší signály dle standardizovaných **komunikačních protokolů**, například Modbus, EtherCat, PROFIBUS a další. Každý výrobce PLC upřednostňuje některý protokol jako primární pro své produkty, ale PLC je možné nakonfigurovat ke komunikaci i přes další protokoly a v případě potřeby dokoupit specifický komunikační modul. Obecně se doporučuje využívat jeden druh protokolu a využívat PLC a dodatkové moduly od jedné firmy. Díky tomu je bezpečně zajištěna kompatibilita a interní komunikace jednotlivých součástí. V reálném prostředí se ovšem většinou setkáme s celou řadou komunikačních protokolů a je nutné znát jejich princip, strukturu dat, a vědět, jak je využít a zajistit vzájemnou kompatibilitu.

3.5.3 Výrobci

Mezi nejznámější výrobce PLC jednotek patří:

- Siemens
- Allen Bradley
- Honeywell
- Schneider Electric
- Beckhoff
- Mitsubishi Electric
- ABB

a další.

3.6 TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) byl představen společností SIEMENS v roce 2011. Jedná se o multifunkční softwarové prostředí, určené k projektování, programování a testování řídících systémů (např. PLC), operátorských rozhraní (především HMI) a elektrických pohonů.

V současné době je uživatel v TIA schopen vytvořit, simulovat a kontrolovat automatizační řetězec všech žádaných součástí pracoviště. Ať už se jedná o PLC, frekvenční měniče pohonů nebo HMI operátora. Následně lze konfigurovat komunikaci mezi všemi prvky (např. kom. protokoly, sítě a přiřazení IP adres). Každá ze zmíněných komponent má svou vlastní databázi obsahující informace o daném modelu zařízení a všech dostupných přídavných modulech, které je možné domodifikovat, jakkoli to výrobce umožňuje. Kromě interních zařízení dokáže TIA pracovat s celou řadou decentralizovaných signálů (např. senzorika).

Samotné prostředí je velmi intuitivní a přátelské obsluze.

3.7 Komunikační protokoly

V továrnách, civilních budovách či v domácnostech se neustále dostáváme do kontaktu s elektrotechnickými předměty. Aby bylo možné tuto techniku efektivně užívat a komunikovat s nimi navzájem, bylo nutné vytvořit určité standardy/protokoly, definující strukturu odesílaných zpráv. Díky tomu je možné odesílat drátově i bezdrátově informace veřejně (všem uživatelům sítě), popřípadě neveřejně (point-to-point/ z bodu do bodu).

Užívané protokoly můžeme rozdělit dle typu přenosu na drátové a bezdrátové.

3.7.1 Protokoly u drátového přenosu

Mezi neznámější protokoly dodnes patří **MODBUS**. Jedná se o jednu z nejstarších sériových komunikací. Funguje na principu master/slave, kdy master odesílá dotazy a připojená zařízení odesílají aktuální hodnoty. Výhodou je jednoduchost, spolehlivost a open-source (otevřený zdrojový kód – může ho využívat kterýkoliv výrobce).

V současné době je MODBUS nahrazován protokoly využívající ethernet (optické kabely s kroucenou dvojlinkou). Jedním z nich je například **PROFINET**. Jedná se znovu o open-source protokol, zajišťující cyklickou a acyklickou komunikaci. Největší výhodou je rychlost přenosu dat (zajišťující stabilní komunikace v reálném čase) a zabezpečení.

Další průmyslové protokoly:

- EtherCAT
- Ethernet/IP
- IO-Link

3.7.2 Protokoly u bezdrátového přenosu

Druhá kategorie se zabývá průmyslovými bezdrátovými komunikačními protokoly. V moderní době se s nimi můžeme setkat stále častěji a jsou nedílnou součástí hlasitě zmiňované průmyslové revoluce 4.0.

Největší výhodou přenosu je odstranění kabeláže, a tím i značných nákladů ve velkých výrobních závodech, čímž se zmenší úbytek pracovního prostoru.

Nevýhodou pak může být náchylnost k rušení, a tím i menší stabilita systému, vyšší nároky na bezpečnost (je nežádoucí, aby třetí strana získávala údaje z vysílacích signálů, v horším případě ovládala prvky pracoviště) a pořizovací náklady.

Protokoly na bázi **Wi-Fi standardu** se z důvodu špatné časové odezvy využívají primárně na minimálně časově závislé prvky pracoviště a na místech určených k dlouhodobému zaznamenávání hodnot. Mezi nejpoužívanější typy patří HaLow Wi-fi (frekvence 900 MHz, vysoký dosah, málo energeticky náročné) a WiGig (frekvence 60 GHz, vysoký dosah, rychlý přenos dat).

Další protokoly k bezdrátovému přenosu:

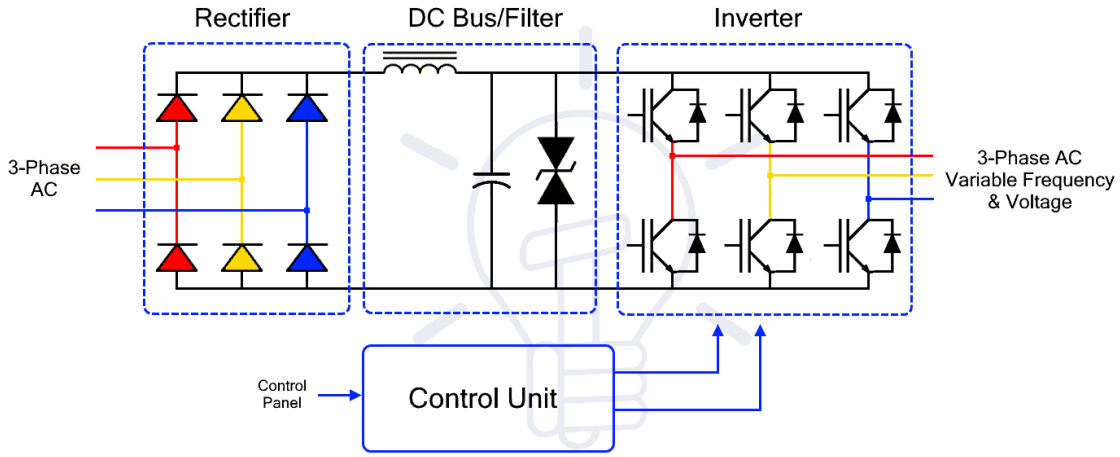
- WirelessHart
- 6LoWPAN
- ZigBee
- LoRA

3.8 Frekvenční měnič (Variable Frequency Drive / VFD)

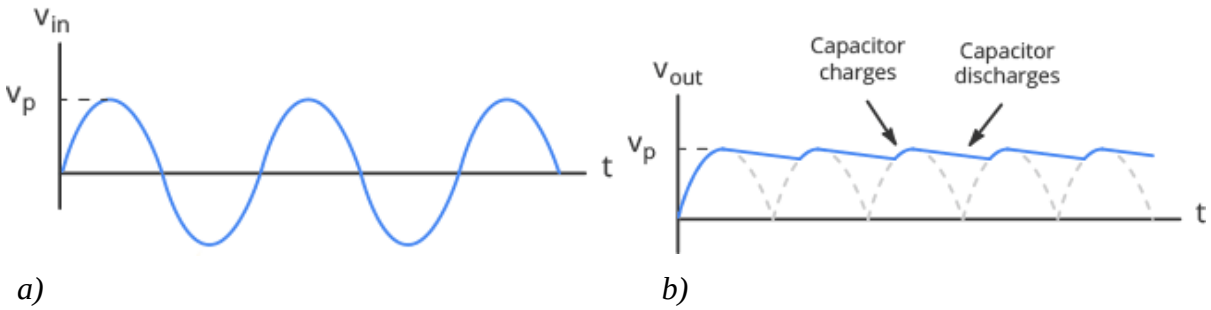
V současně době narazíme na elektrické pohony téměř na každém kroku. Výhodou je jednoduché zapojení, ovládání a finanční náklady. Ke zmíněnému ovládání využíváme frekvenční měniče. Jedná se o zařízení, které nám umožňuje měnit vstupní hodnoty frekvence elektrického napětí, a tím řídit chování elektromotoru.

VFD nachází využití u všech elektrických pohonů, u kterých požadujeme řízení otáček či přesné polohování.

Konstrukčně obsahují měniče tři části. V první části usměrníme vstupní napětí z AC na DC za pomoci polovodičů (diod), následně prvotně usměrněné napětí vyhladíme v druhé části pomocí kondenzátorů a cívek. A v poslední části se na vytvořené DC napětí použije střídač k získání AC v žádané frekvenci. Střídač signál upravuje pomocí tzv. pulzní šířkové modulace (PWM), čímž vytváří diskrétní signály ON/OFF s definovanou střídou (časový poměr zapnuto/vypnuto). Díky této modulaci nezískáváme analogový signál jako na vstupu, ale aproximaci pomocí vln. Výhodou je efektivní ovládání výstupní frekvence.

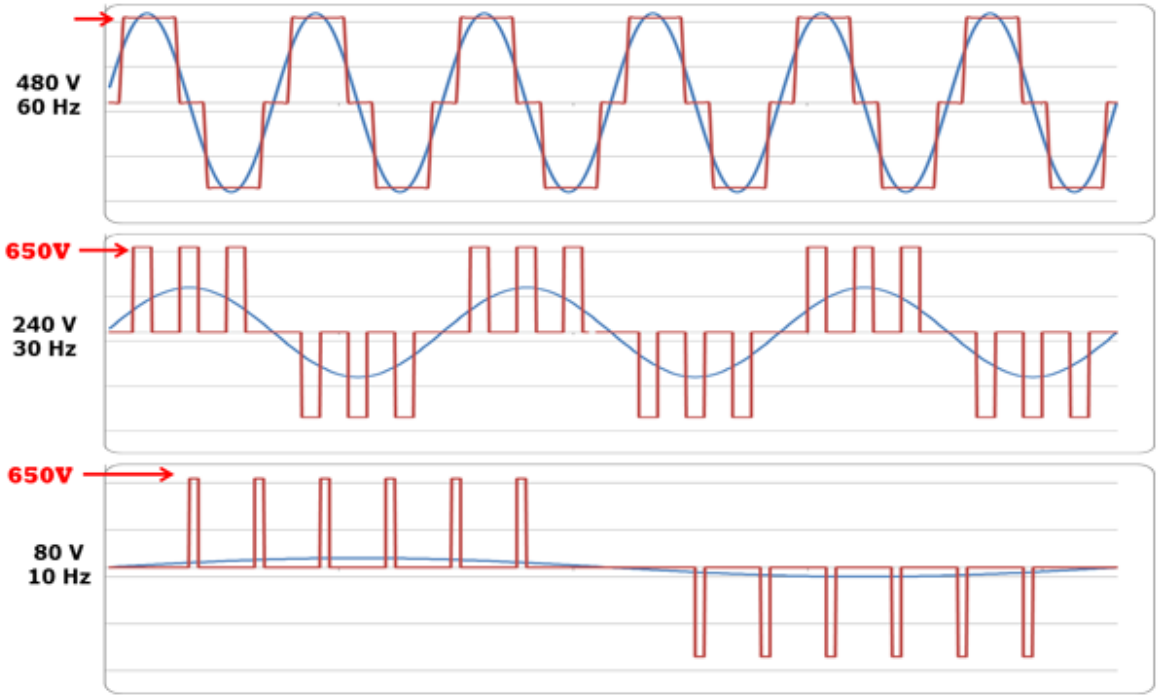


Obr. 25 – Základní vnitřní struktura frekvenčního měniče [24]



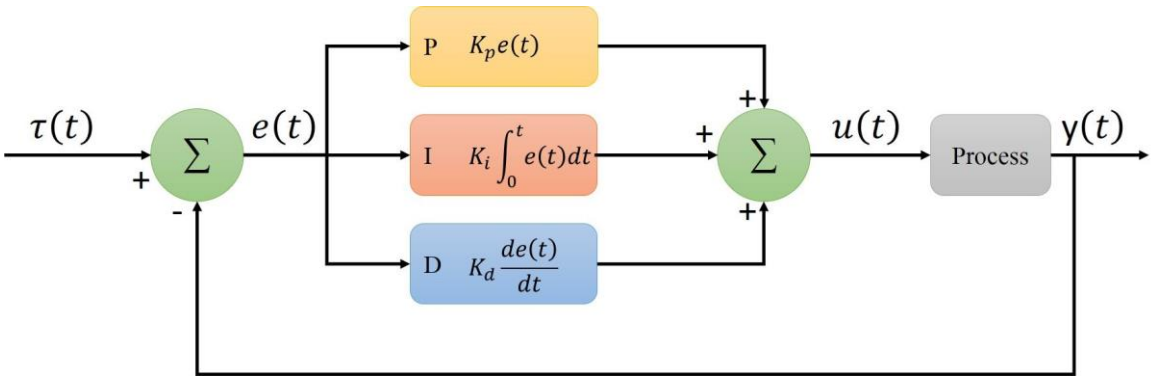
a) *b)*

Obr. 26 – Vstupní a výstupní napětí po usměrnění a vyhlazení [25] [26]



Obr. 27 – Ukázka fungování výstupního střídače frekvenčního měniče [27]

V současné době se také můžeme stále častěji setkat s VFD měniči, které mají integrovaný PID regulátor. PID regulace zajišťuje nastaveni výstupu PWM z měniče tak, aby byly dodrženy požadavky uživatele, například otáčky, a to i přes proměnlivé vnější vlivy či zátěž na regulovaný systém.



Obr. 28 – Standardní struktura PID regulátoru [28]

Na obr. 28 jde vidět schéma PID regulátoru. Systém obdrží informaci o žádané hodnotě τ(t) a následně se z aktuální hodnoty y(t) vypočítá odchylka e(t), kterou je cílem snížit na minimum, v ideálním případě eliminovat. Regulace poté probíhá nastavením tří složek: proporcionální, integrační a derivační (PID). Po obdržení hodnot získáváme zásah systému do procesu u(t) a cyklus se znovu opakuje.

Nastavení dílčích složek závisí na dané aplikaci, nejdůležitějšími hodnotami jsou žádaná rychlost ustálení a povolený překmit. Proces je možné nastavit mnoha způsoby, cílem je získat dostatečně vhodnou variantu pro danou problematiku. Metod pro získání hodnot PID složek je mnoho. Nejběžnější jsou například metody Ziegler-Nichols, Dvoubodová metoda a Pokus Omyl.

Využití nachází především v průmyslových aplikacích, kde je vyžadováno komplexnější ovládání zařízení. Nejběžněji se jedná o ovládání elektrických pohonů.

Výhody:

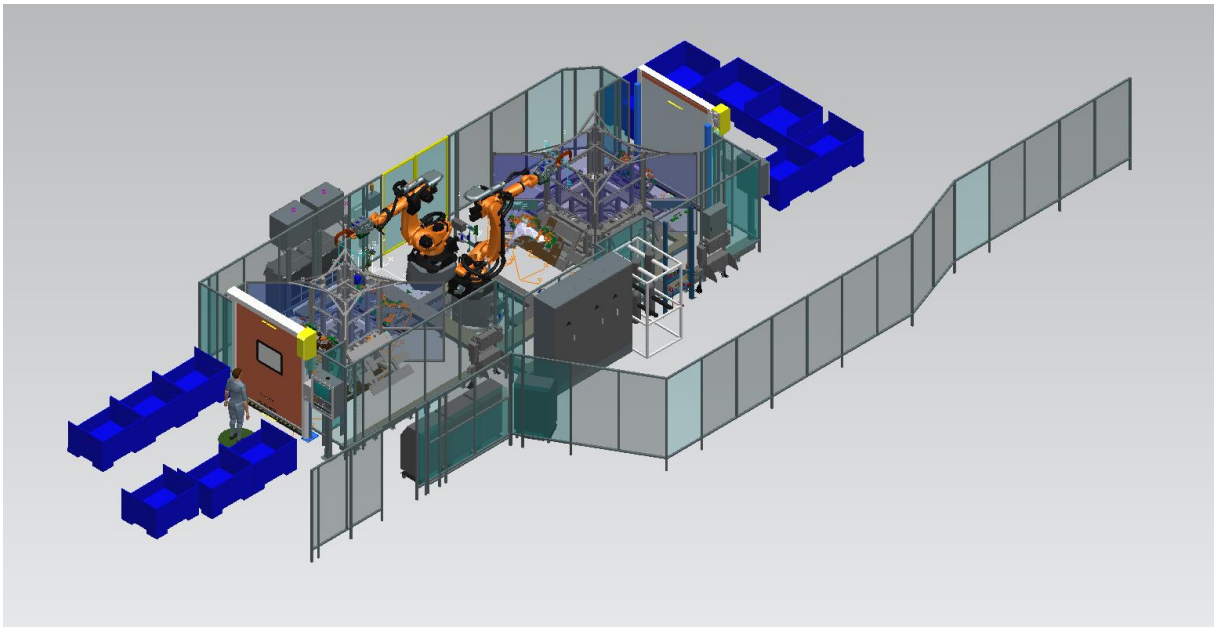
- Variabilní hodnota frekvence
- Přesné ovládání (poloha, otáčky, proud)

Nevýhody:

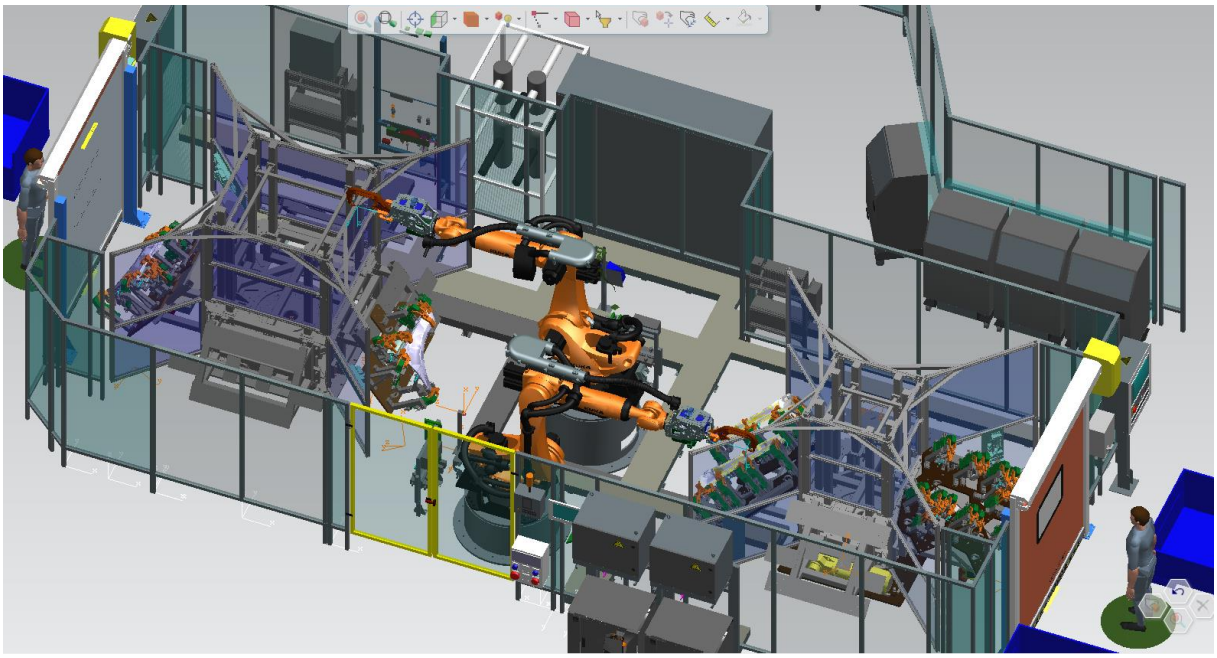
- Cena
- Bez převodovky ztrácíme výkon, jelikož výkon je roven momentu a otáčkám
    - $P = M * \omega$
- Nastavení PID / odbornost

4 ROZBOR ZADANÉHO PRACOVIŠTĚ

V práci bylo výchozím bodem robotické pracoviště pro bodové svařování. Jedná se o reálně fungující buňku určenou k bodovému svařování tenkých kovových dílů (polotovarů typu blatník a šachta).



Obr. 29 – Zadané pracoviště



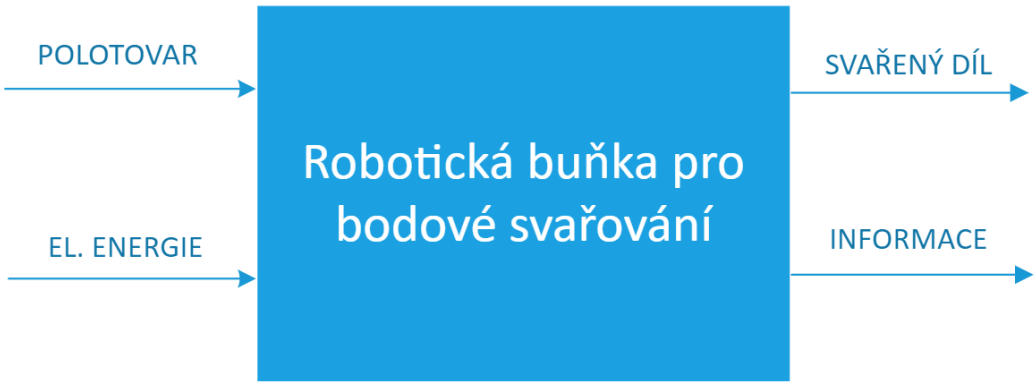
Obr. 30 – Detail zad aného pracoviště

Pracoviště tvoří:

- Ochranné krytí
- Rozvody kabelů
- 2x Otočné upínací zařízení pro upínání a vyjímání polotovarů
- 2x roboty vybaveny nástrojem pro bodové svařování

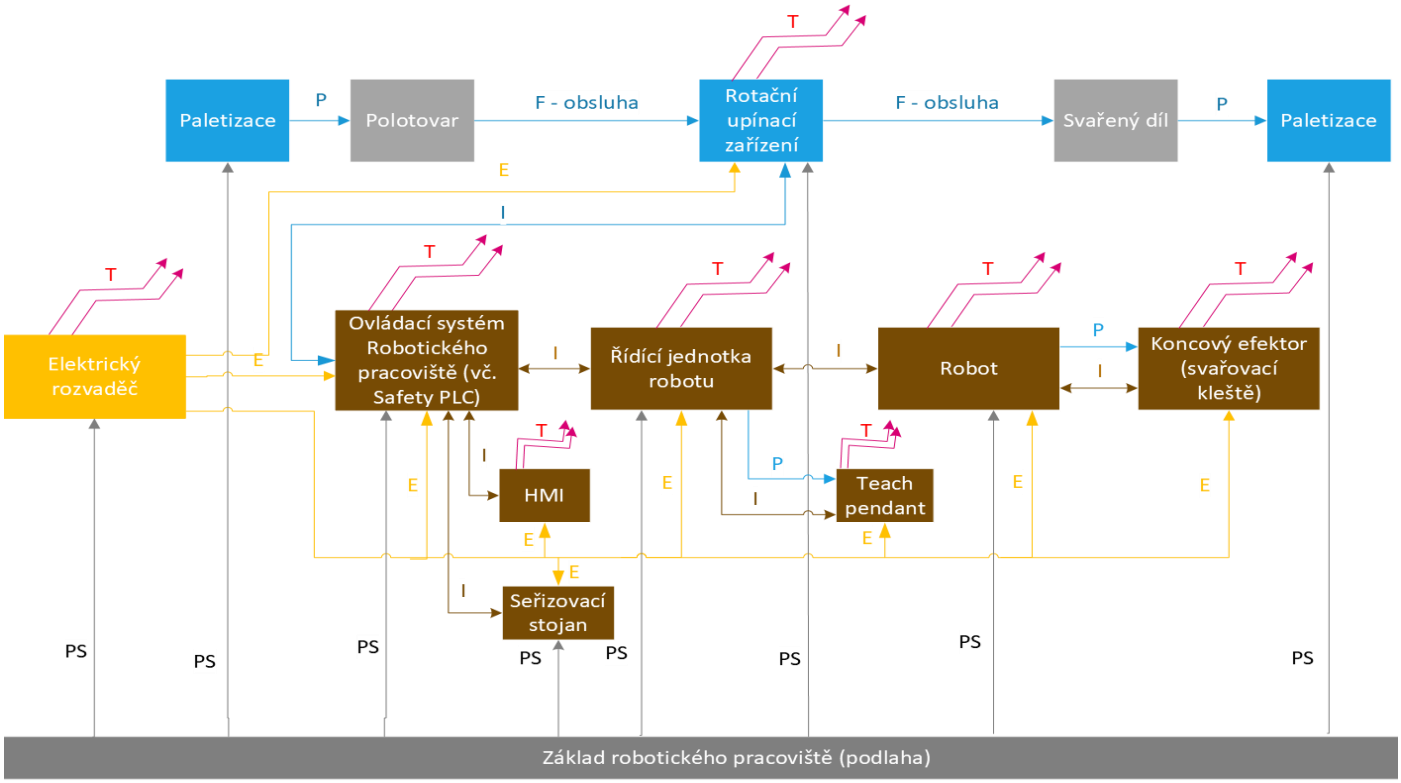
- Welding And Soldering Technology // **spot welding gun c**
- Čidla zajišťující bezpečnost a funkčnost
- Seřizovací stojany na svařovací nástroj robotu
- Rozvody a ovládací prvky elektřiny, pneumatiky
- Obsluha
- Palety

4.1 Blokový diagram obecný



Obr. 31 – Obecný blokový diagram buňky

4.2 Blokový diagram robotické buňky

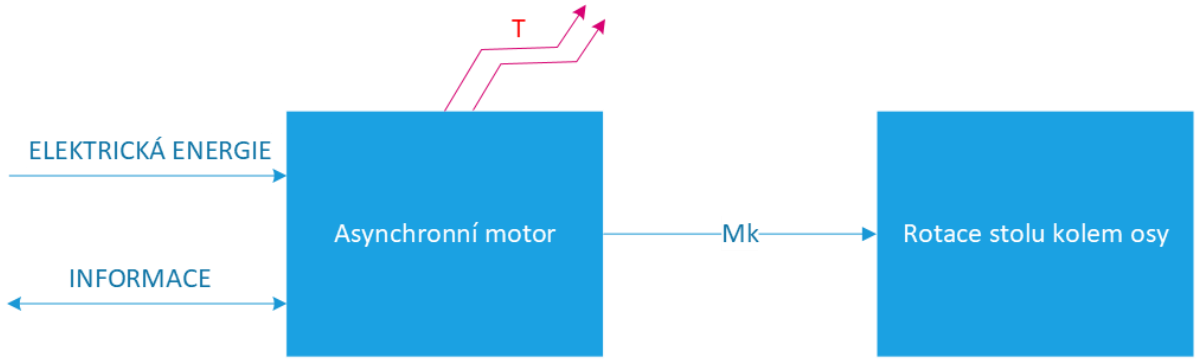


Obr. 32 – Blokový diagram robotické buňky

Legenda:

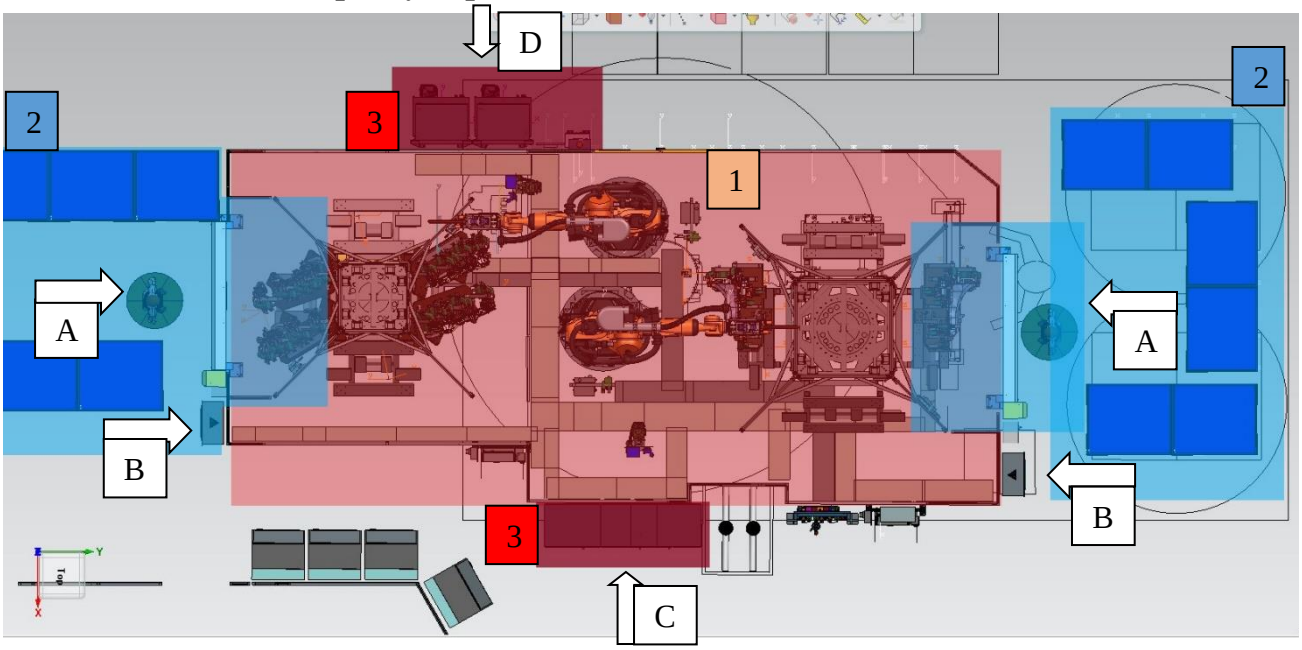
- P – polohová vazba
- F - síla
- PS – pasivní polohová vazba
- T - teplo

4.3 Blokový diagram upínacího zařízení/otočného stolu



Obr. 33 – Blokový diagram rotačního stolu

4.4 Definování nebezpečných prostor



Obr. 34 – Rozbor nebezpečných prostorů pracoviště

1. Pracovní prostor

2. Prostor obsluhy + paletizace

3. Prostory elektrorozvaděčů

4. Nejbližší prostor robotické buňky

A. Vstup obsluhy

B. Vstup k HMI

C. Vstupy k elektrorozvaděči

D. Vstupy k řídící jednotce RB

4.5 Plánovaný průběh pracovního cyklu

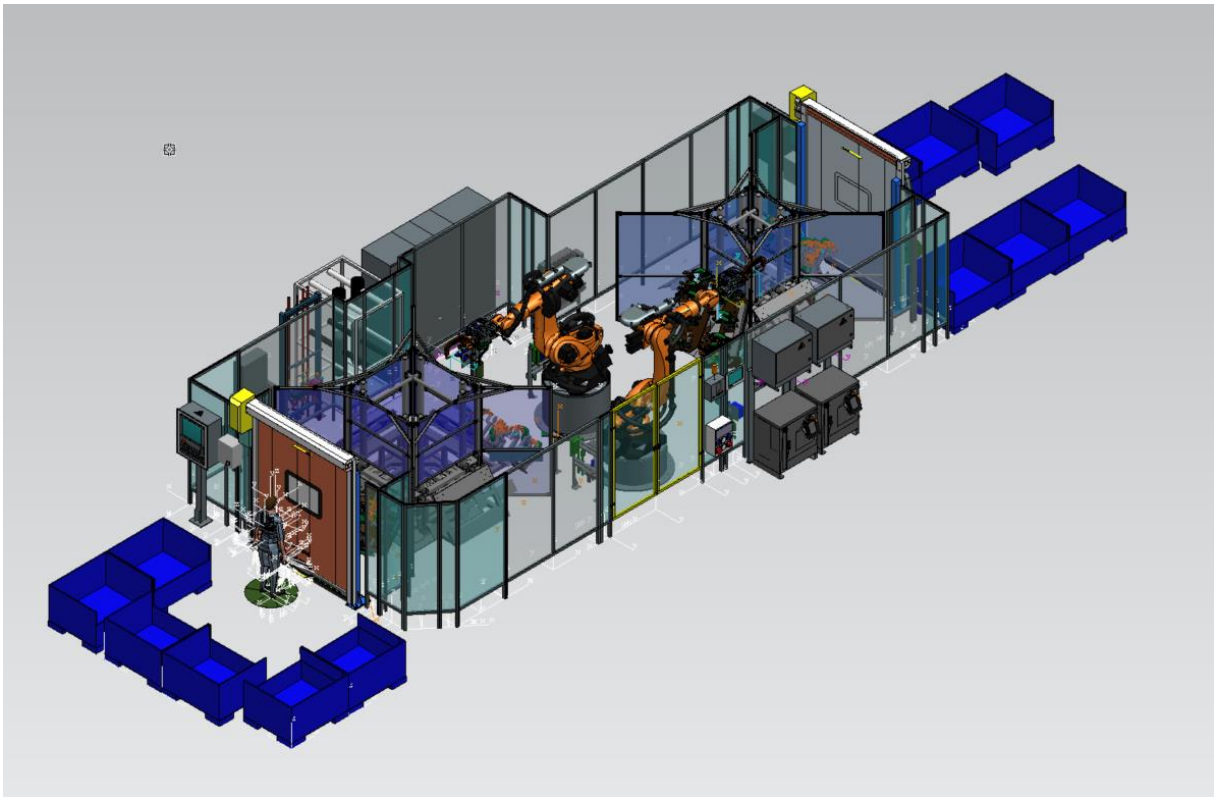
Robotizované pracoviště pro bodové svařování obsahuje dvě paralelně fungující buňky, fungující nezávisle na sobě. Obě fungují stejným způsobem. Tato podkapitola se věnuje popisu funkčního procesu jedné z nich.

Postup obsluhy:

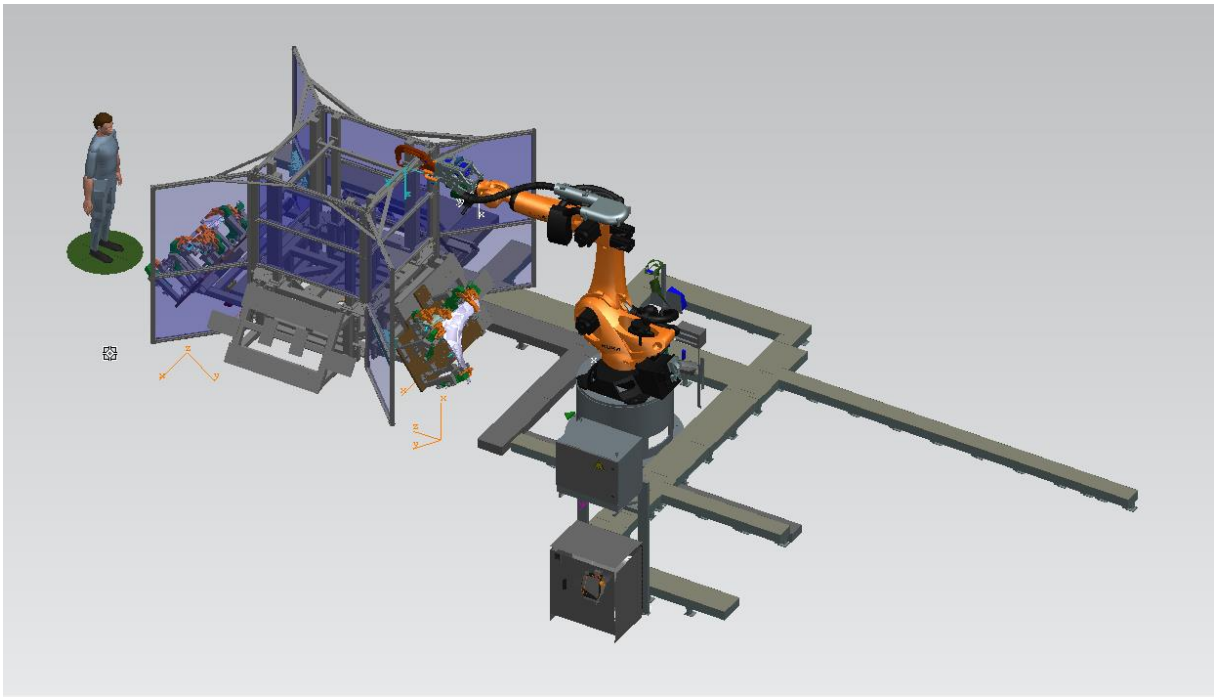
- Obsluha zaaretuje hřibové tlačítko, dojde k otevření bezpečnostních dveří a upínacích prvků rotačního stolu.
- Obsluha vyjme svařené díly, nebo umístí polotovary. Následně opustí pracovní prostor.
- Obsluha odaretuje hřibové tlačítko, tím dojde k zavření upínacích prvků, sjetí ochranných dveří a otočení upínacího stolu.

Postup robotického pracoviště:

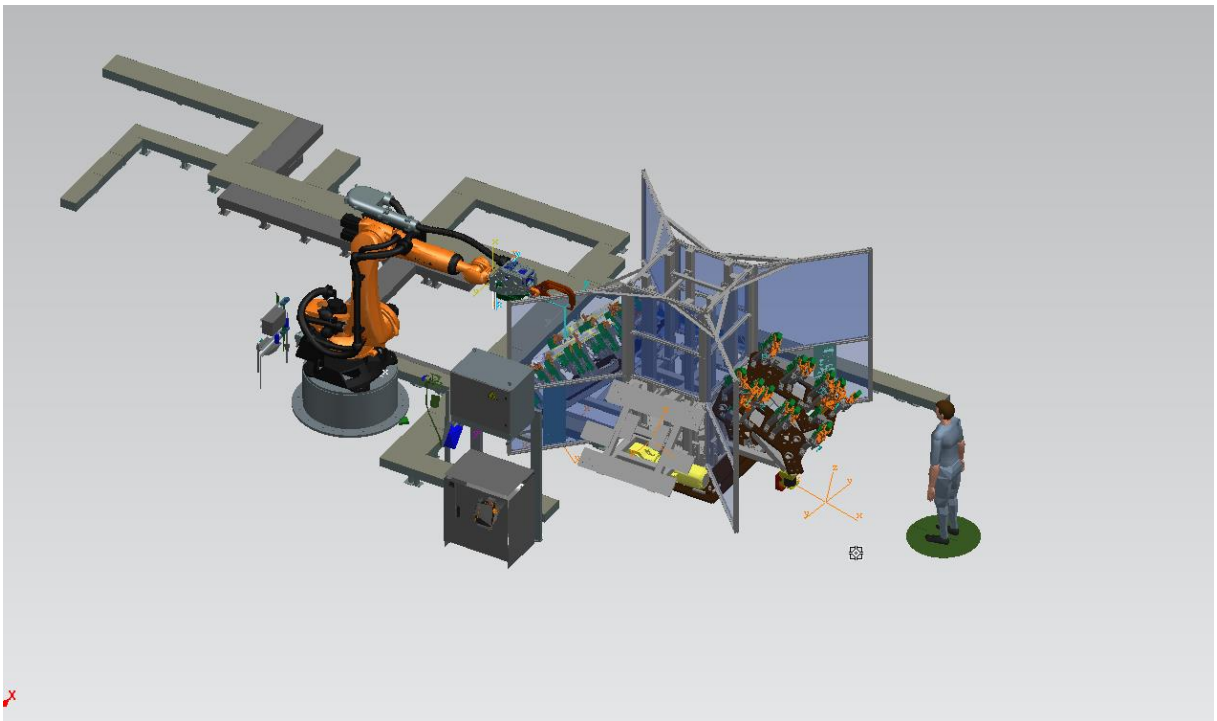
- Pokud je polotovar přítomen na upínací ploše rotačního stolu a stůl je natočen směrem k robotu a je zapnut AUTOMAT, provede se operace svařování.
- Po dokončení předá robot signál řídícímu systému o dokončení operace a stůl může rotovat.
- Po dokončení x svařovaných dílů robot provede seřízení u seřizovacího stojanu a následně se postaví do výchozí pozice.



Obr. 35 – Detail pracoviště



Obr. 36 - Detail na první část robotické buňky bez bezpečnostních prvků



Obr. 37 - Detail na druhou část robotické buňky bez bezpečnostních prvků

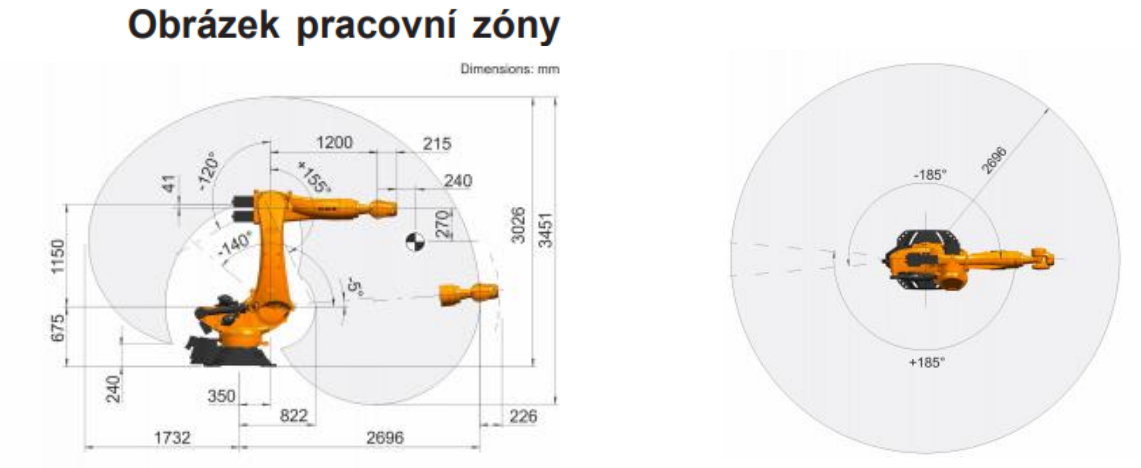
4.6 Roboty

Využité roboty ve výrobní lince jsou **KUKA - kr 210 r2700 extra.** Jedná se o multifunkční šestiosé průmyslové roboty s nosností 210 kg.

V původním stavu roboty neobsahovali v PS žádné signály, senzory, či logiku, pouze operace sváření (viz kap. 4.9).

Technické údaje	
Maximální dosah	2696 mm
Jmenovitá nosnost	210 kg
Jmenovité přídavné zatížení ramene	50 kg
Jmenovité celkové zatížení	260 kg
Přesnost opakování polohy (ISO 9283)	± 0,06 mm
Počet os	6
Montážní plocha	Podlaha
Instalační plocha	830 mm x 830 mm
Hmotnost	Cca. 1068 kg
Provozní podmínky	
Teplota okolí při provozu	10 °C – 55 °C
Druh ochrany	
Druh ochrany (IEC 60529)	IP65
Druh krytí zápěstí robota (IEC 60529)	IP65
Řídící systém	
Řídící systém	KR C4

Tabulka 1 – Detaily robotu KUKA



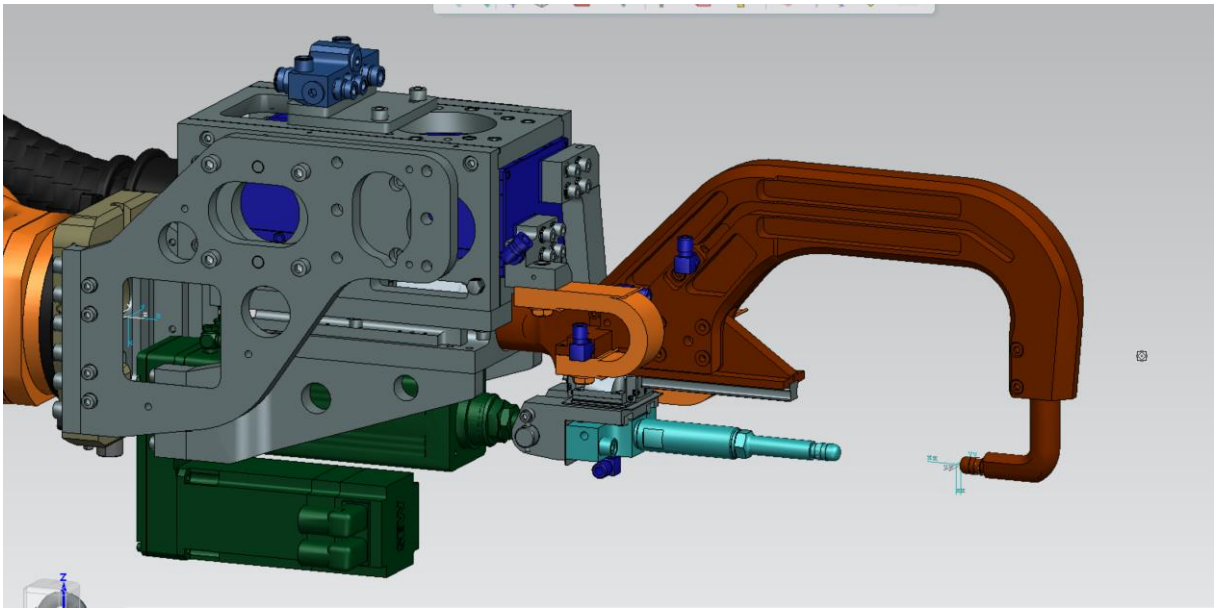
a) *b)*

Obr. 38 – a) Pracovní zóny robotu, b) Sférický dosah robotu

Využité příslušenství:

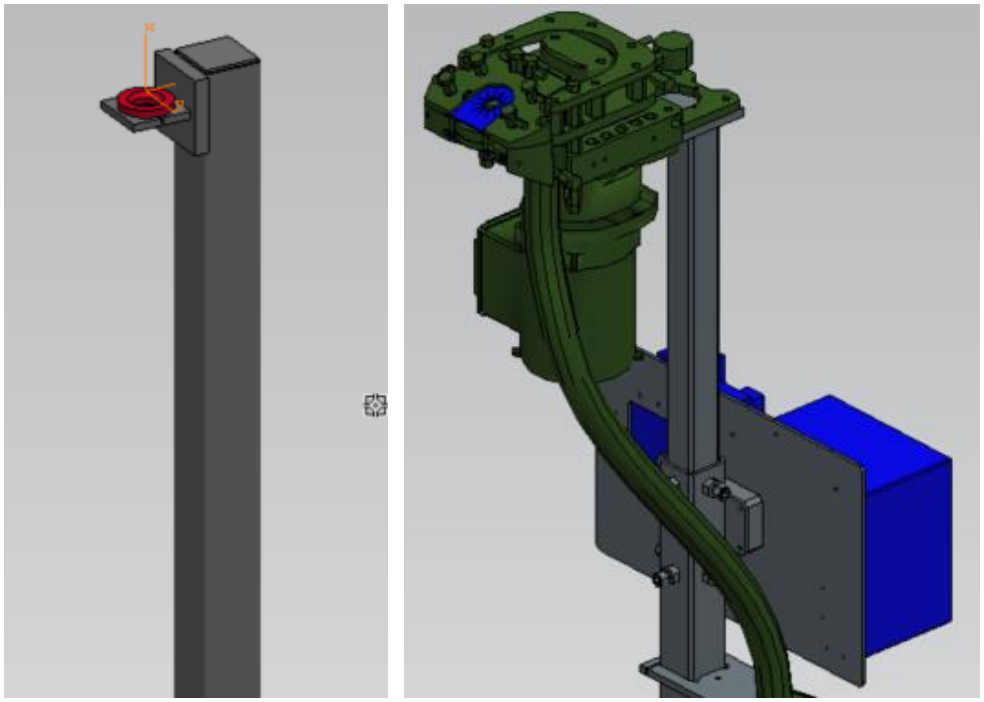
- **Bodové svařovací kleště typu C – pneumatické // spot welding gun C**

- Chladící kapalina
- Kabeláž – přívody elektrické energie k robotu a k svařovacím kleštím
- Sběrnicové moduly ke komunikaci s PLC skrze Profinet
- KUKA elektrorozvaděč robota
- Robotická konzola 500 mm vysoká pro roboty KUKA 150-240 kg Generation 2010



Obr. 39 – Svařovací kleště typu C

Svařovací kleště typu C. Jedná se o servo kleště používané k bodovému svařování. TCP je umístěno na špičce přední čelisti, kde osa Z směřuje k robotu. Druhá upínací část je pohyblivá s pomocí pneu/elektro válce. Díky tomu je zajištěna dostatečná upínací síla, nutná k vytvoření správného bodového sváru.

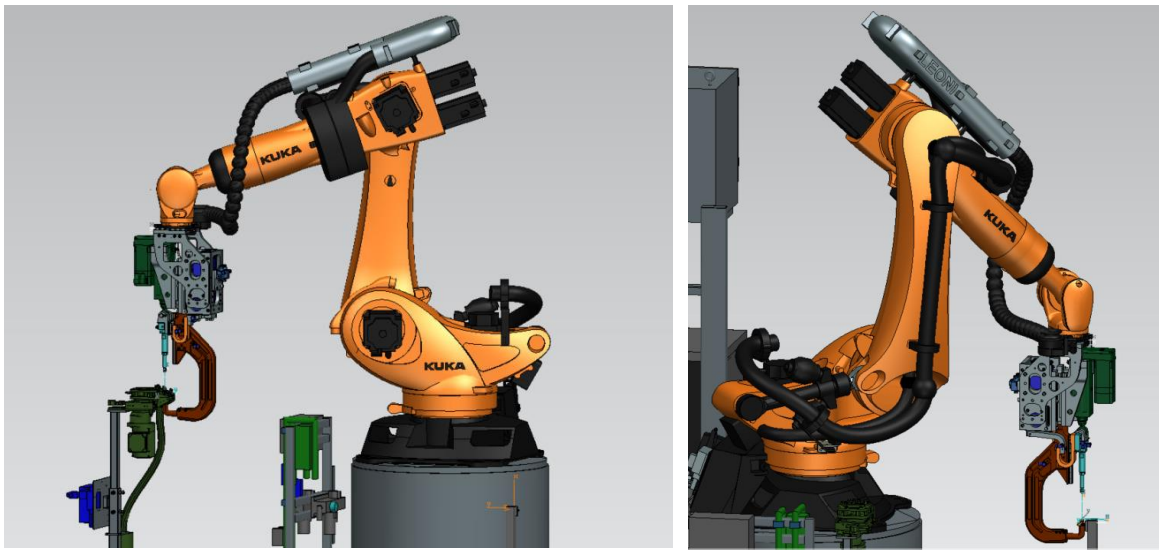


a) *b)*

Obr. 40 – a) Stojan pro automatické zaměření TCP, b) Frézovací stojan

TCP a seřizovací stojan. Stojany jsou určeny k čištění/údržbě svařovacích kleští. TCP stojan má za úkol automaticky zkontrolovat a vyhodnotit aktuální pozici TCP (pracovního bodu nástroje). Svářecí stanice má za úkol ofrézovat špičku TCP, díky čemuž se odstraní nečistoty, které by mohly zabránit průchodu proudu, a tím i procesu sváření.

V **původním stavu stanice** neobsahovaly žádné signály, senzoriku, či logiku.



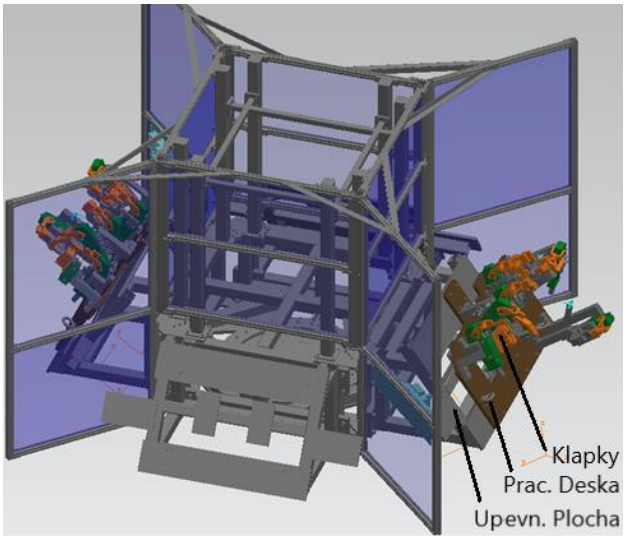
a) *b)*

Obr. 41 – a) Operace frézování, b) Operace TCP

4.7 Rotační upínací zařízení

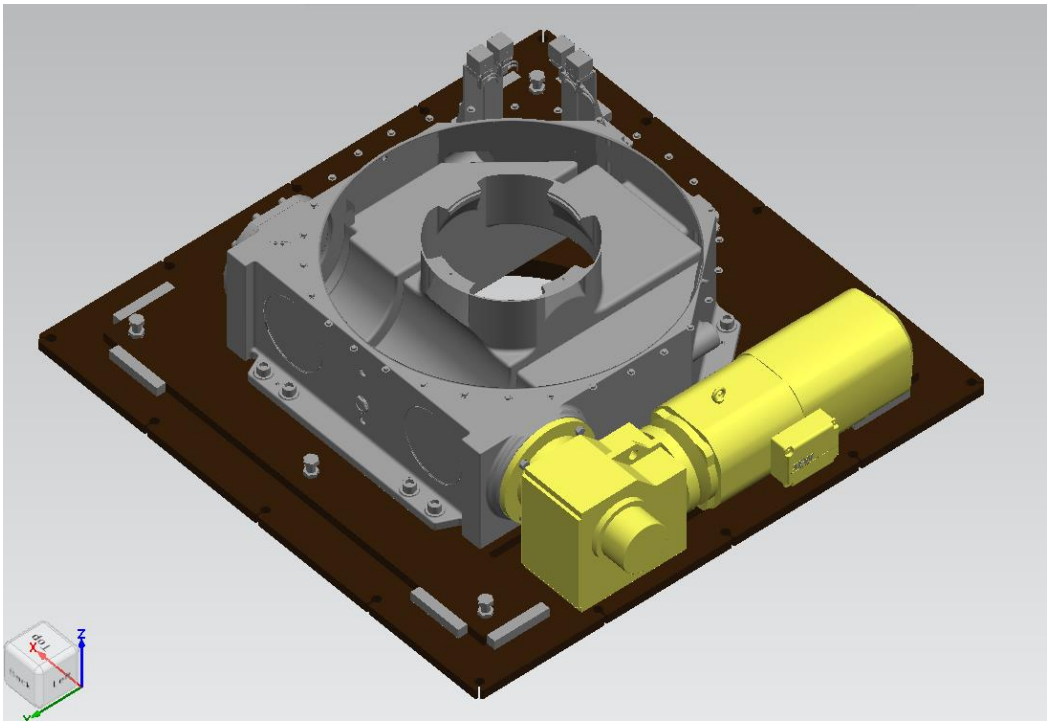
Zařízení slouží k upevnění polotovarů a následné rotaci o 180°. Tvoří ji kovová konstrukce, opatřená průhlednými ochrannými skly po bocích (ochrana před záblesky při procesu svařování) a kovovou nakloněnou plochou, na níž lze šrouby pevně upevnit pracovní deska.

Pracovní deska má již specifický tvar designovaný tak, aby na ní mohly být umístěny uchopovací prvky (clapery/“klapky“) a další pomocné prvky (podpůrné, čidla atd.) dle typu používaného polotovaru.

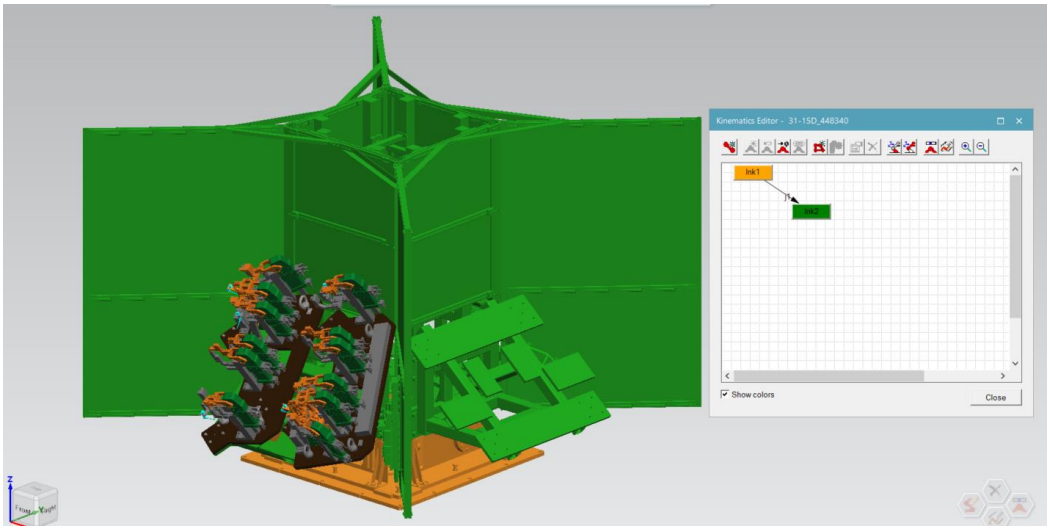


Obr. 42 – Popis rotačního stolu

Rotační mechanismus je poháněn jednoduchým servo pohonem se šnekovou převodovkou od firmy SEW. Nutné je využití enkodéru k zajištění přesného pootočení, či jiných senzorů.



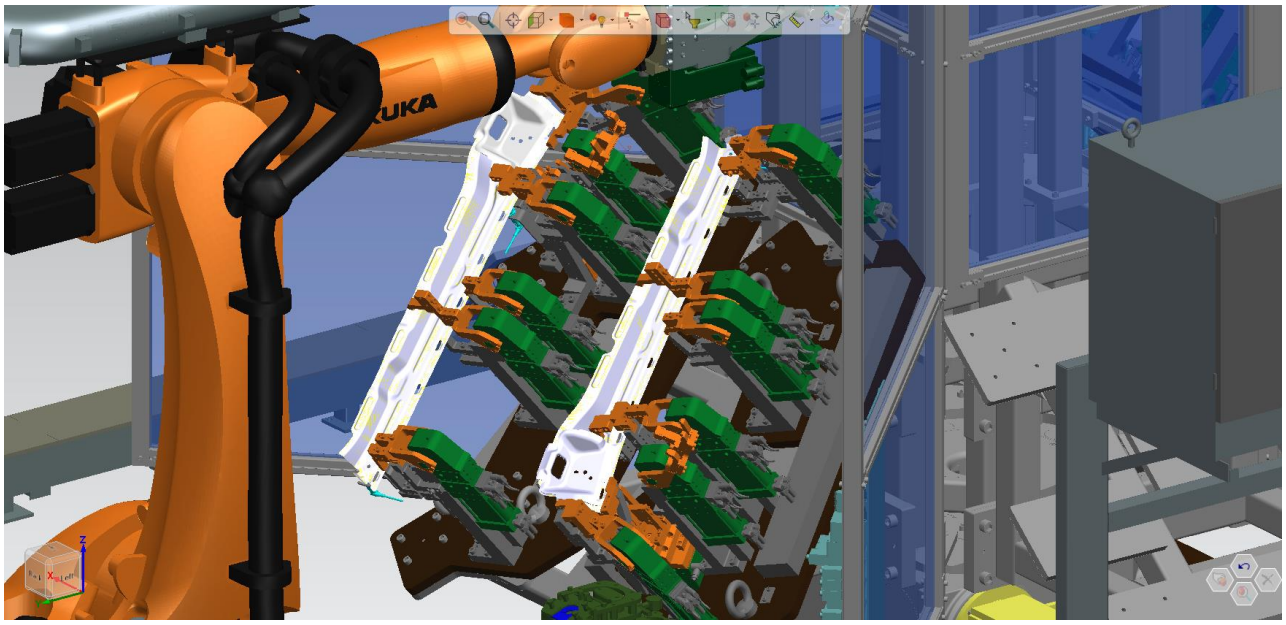
Obr. 43 – Pohon rotačního stolu



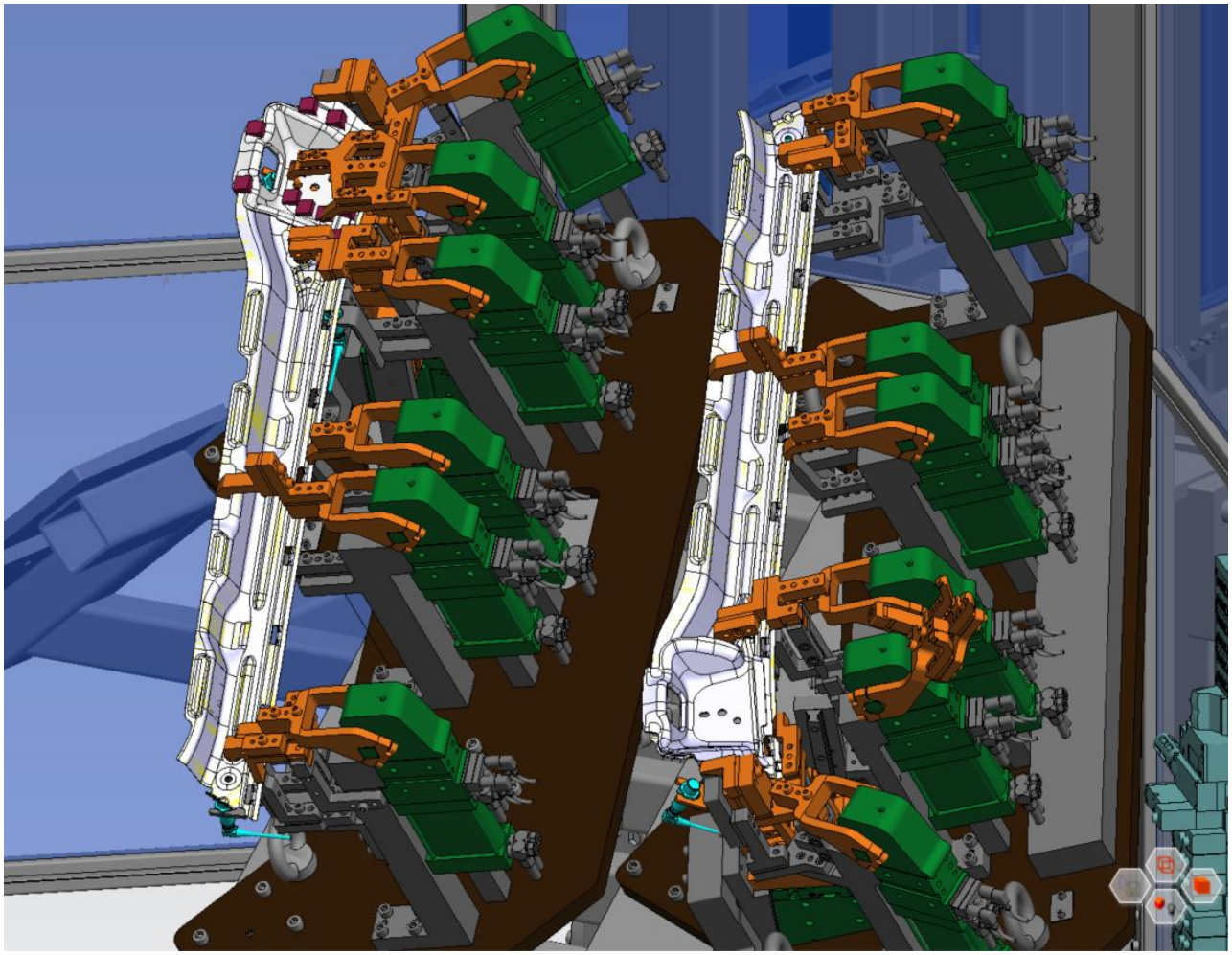
Obr. 44 – Kinematika rotačního stolu

Na obr. 44 lze vidět původní kinematika s definovanou HOME pozicí.

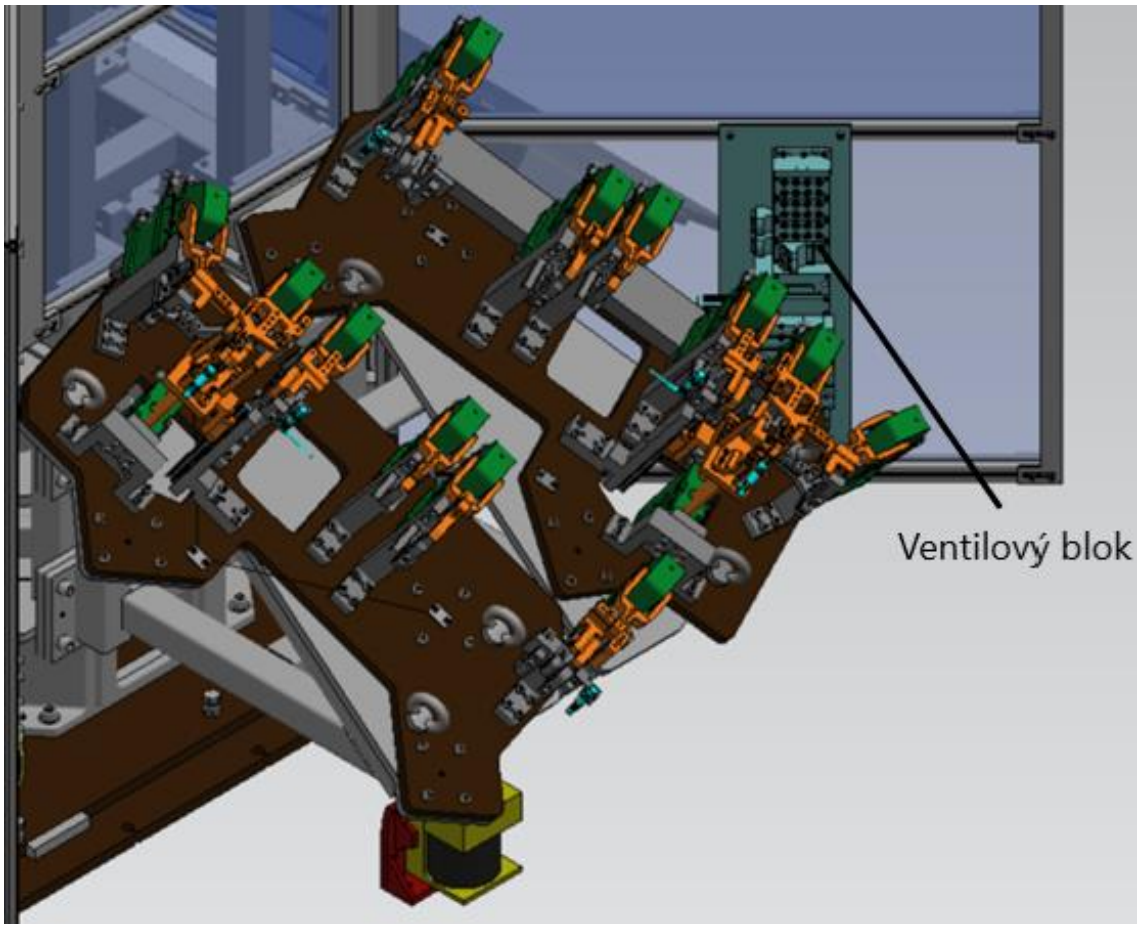
Úchopové prvky otočného stolu slouží k pevnému uchopení a vycentrování polotovaru pro zajištění správného průběhu svařovacích operací. V našem případě jsou využity pneumatické upínací prvky, zajišťující jednoduché a rychlé ovládání (obr. 45, 46, 47).



Obr. 45 – Upínací prvky rotačního stolu polotovarů typu šachta

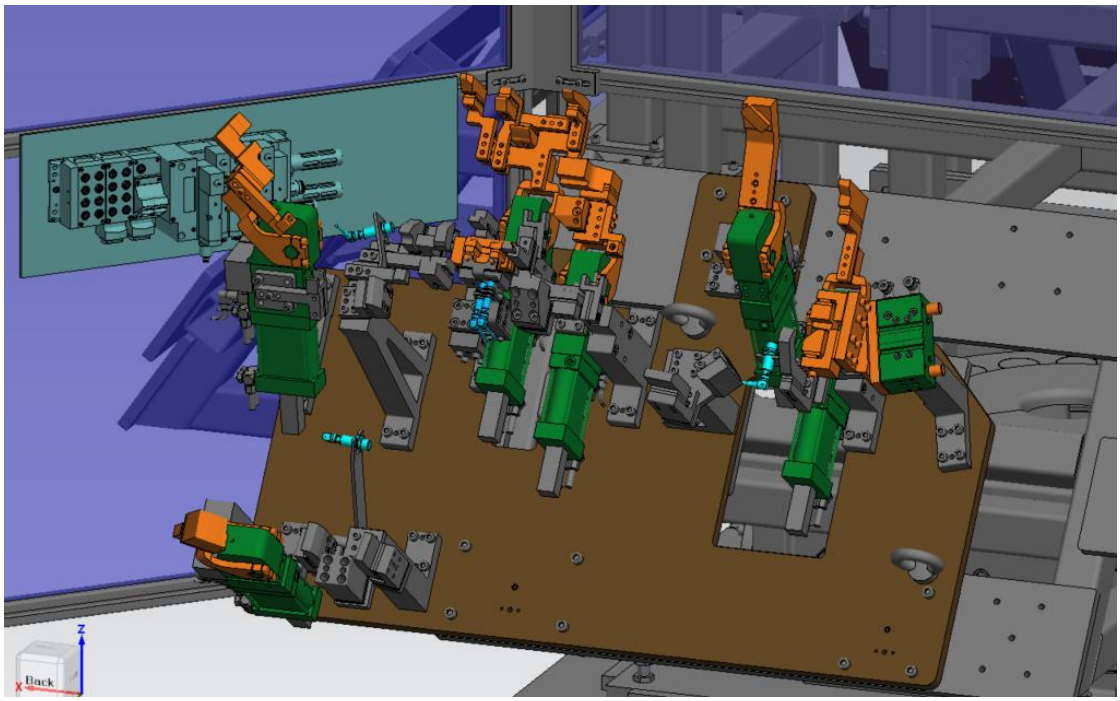


Obr. 46 - Upínací prvky rotačního stolu polotovarů typu šachta



Obr. 47 – Detail upínacích prvků rotačního stolu polotovarů typu šachta

Na obr. 47 je možné vidět vývody jednotlivých pneumatických ventilů a kompletní ventilový blok umístěný na bočním skle stolu. Problém tohoto uložení je napájení bloku. Potřebnou kabeláž bude nutné natáhnout skrze střed rotačního stolu do kabelového žlabu.



Obr. 48 – Detail na upínací prvky rotačního stolu polotovarů typu blatník

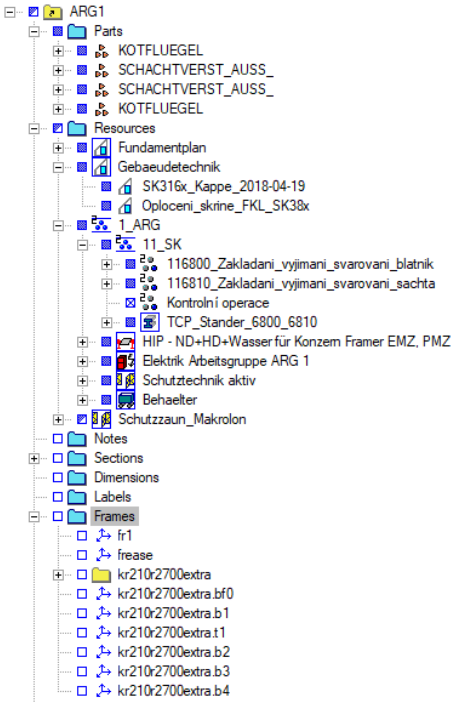
V původním stavu chybí u stolu i klapek veškeré operace, logika, senzorika (modely zakomponovány uvnitř modelu klapek – nedají se definovat jako senzory), signál o aktuální poloze (např. z enkodéru) a další signálová struktura.

Upínací klapky se pohybují na každé straně jako celek ve dvou pozicích OPEN/CLOSE. Chybí ještě třetí pozice WORK u jednoho z rotačních stolů, jelikož dvě klapky slouží jen jako podpora k vycentrování polotovaru při zakládání. Po založení se zavřou všechny klapky a následně se dvě klapky otevřou, aby udělaly místo pro svařovací hlavu robotu.

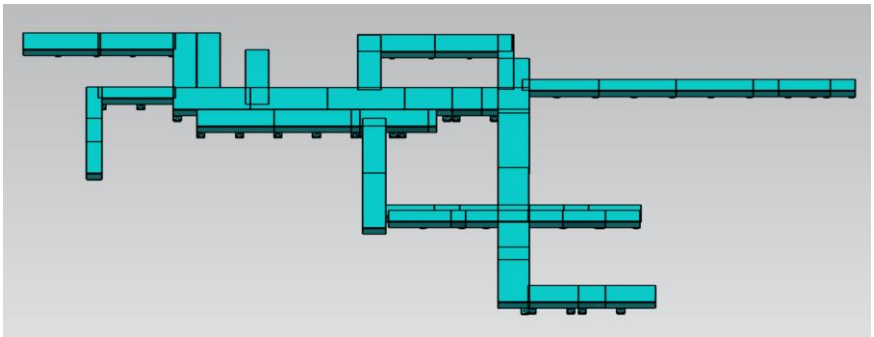
4.8 Process Simulate – Object tree

Složka **parts** obsahuje jednotlivé modely polotovarů určených ke svařování. Druhá složka **Resources** obsahuje všechny ostatní komponenty v PS.

Fundamental plan obsahuje modely kanálů pro kabeláž.



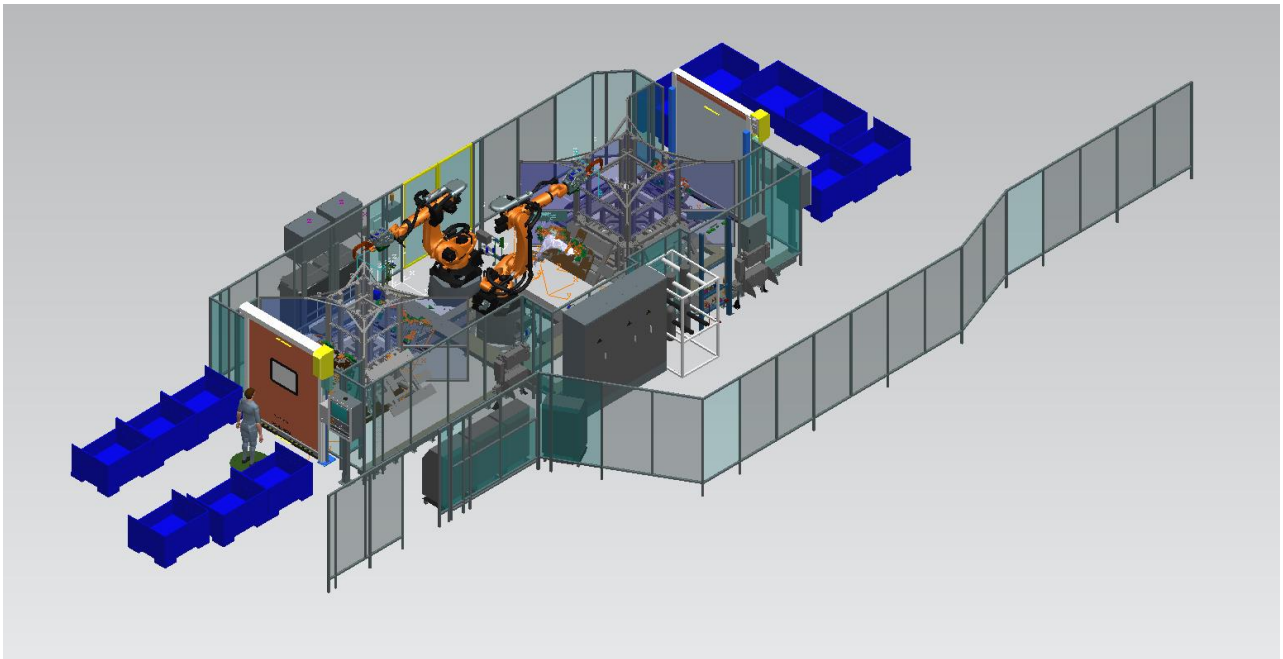
Obr. 49 – Strom objektů projektu



Obr. 50 – Kanálová struktura pro kabeláž po celém pracovišti

Výrobní systém je opatřen bezpečnostními prvky. Především vnějším a vnitřním oplocením. Vnější zamezuje nechtěnému vniku neoprávněných osob a odděluje systém od ostatních systémů. Vnitřní oplocení pak má za úkol plnit bezpečnostní předpisy normy ČSN

EN ISO 12100. Zajišťuje ochranu zraku osob v pracovním prostoru a zamezuje neoprávněnému vstupu na pracoviště během pracovního cyklu.



Obr. 51 – Detail na pracoviště včetně všech bezpečnostních prvků (oplocení)

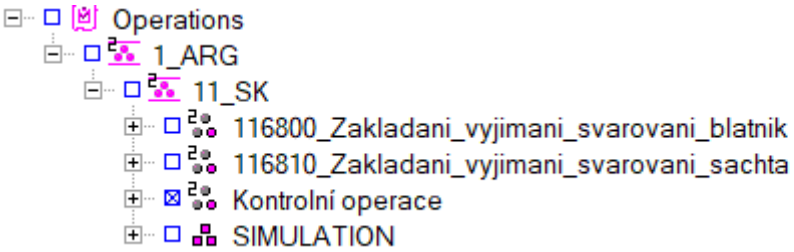
Největší složka 1_ARG obsahuje všechny další komponenty.

- 11_SK – roboty, svářecí kleště, rotační stoly, seřizovací stojany, elektrické rozvaděče robotů, obsluha
- Rozvody vzduchu a vzdušníky
- Hlavní elektrorozvaděč, HMI panely, bezpečnostní tlačítka u vchodů a blinkr
- Bezpečnostní dveře (vchody)
- Kontejnery polotovarů a hotových součástí

Všechny prvky jsou obsaženy bez konfigurace logiky či jakýchkoliv signálů a senzorů.

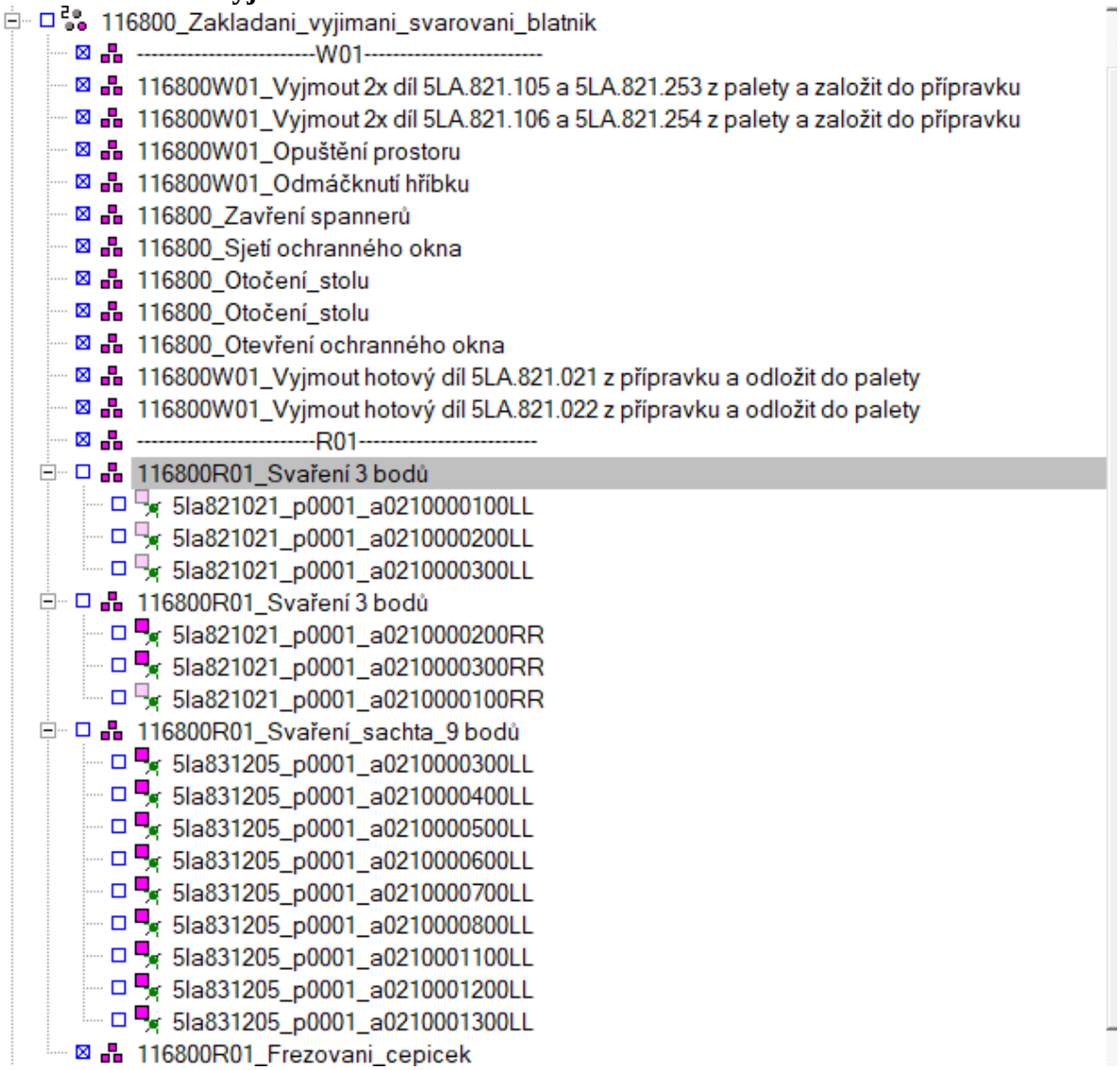
4.9 Strom operaci / Operation tree

Operace jsou v projektu rozděleny do čtyř základních kategorií. První dvě nám popisují fungování celého procesu, třetí upozorňuje na zohlednění požadovaného času na namátkovou kontrolu svařených dílů a poslední kategorie SIMULATION představuje dráhy robotu.



Obr. 52 – Strom operací

4.9.1 Zakládání/vyjímání/svařování - blatník

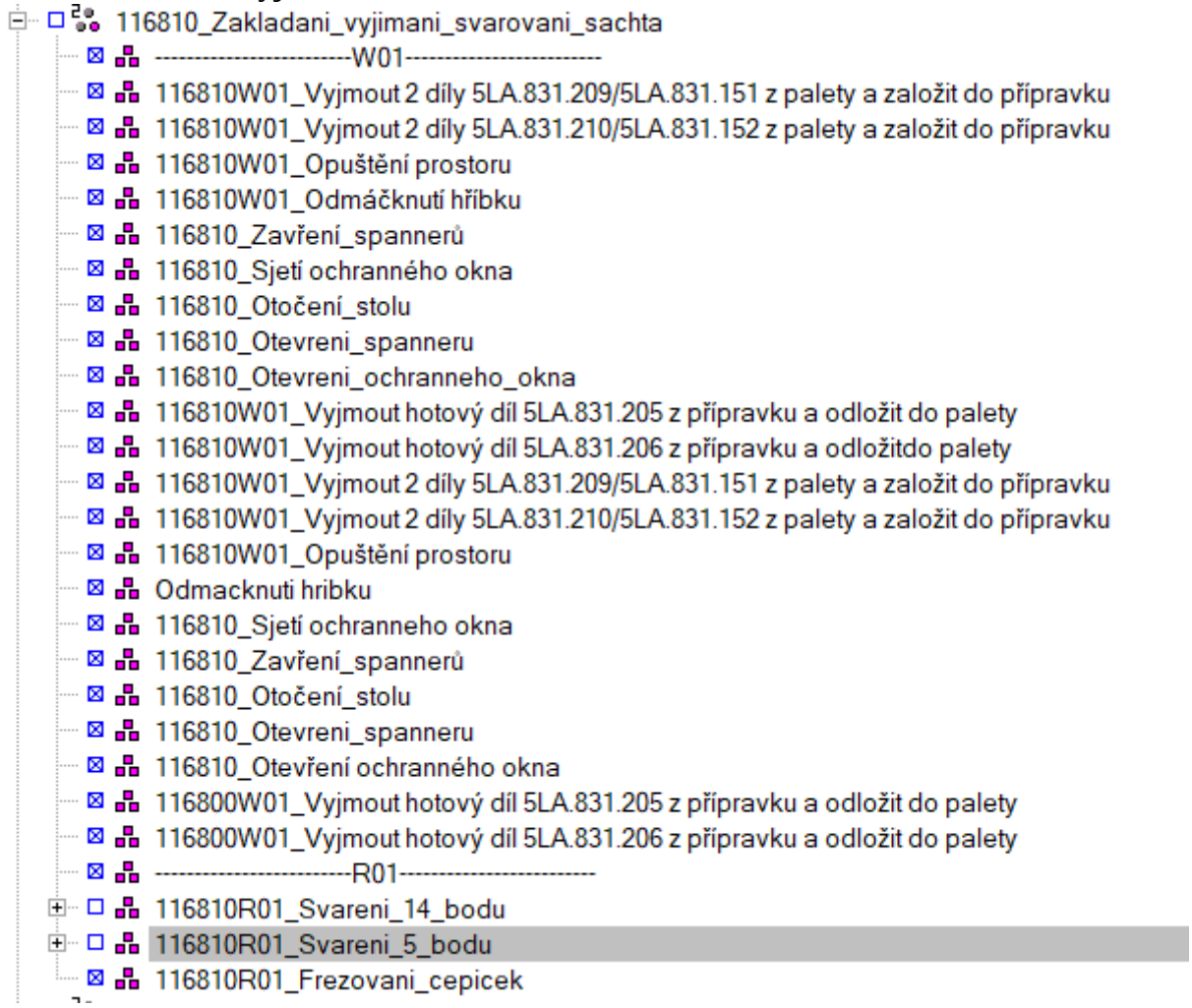


Obr. 53 – Operace typu polotovaru blatník

První část programu **W01** nám popisuje logiku fungování pracoviště z pohledu obsluhy. Ta má na starosti zakládání a vyjímaní polotovarů. Pro bezpečnost obsluhy se v tomto prostoru nachází bezpečnostní dveře, bezpečnostní aretační tlačítko a laserový skener pracovního prostoru obsluhy, který zajišťuje, že se obsluha nenachází v blízkosti dveří během jejich zavírání.

Následně operace **R01** obsahuje kopie pozic svařovacích bodů prvního robotu.

4.9.2 Zakládání/vyjímání/svařování - šachta



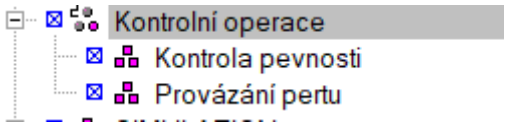
Obr. 54 - Operace typu polotovaru šachta

U druhého robotu můžeme vidět stejný sled událostí, jako u prvního. Po shrnutí pracovního cyklu zde najdeme kopie pozic svářecích bodů druhého robotu.

4.9.3 Kontrolní operace

Posledním krokem po svařování je kontrola pevnosti svařených dílů a provázání PERTu.

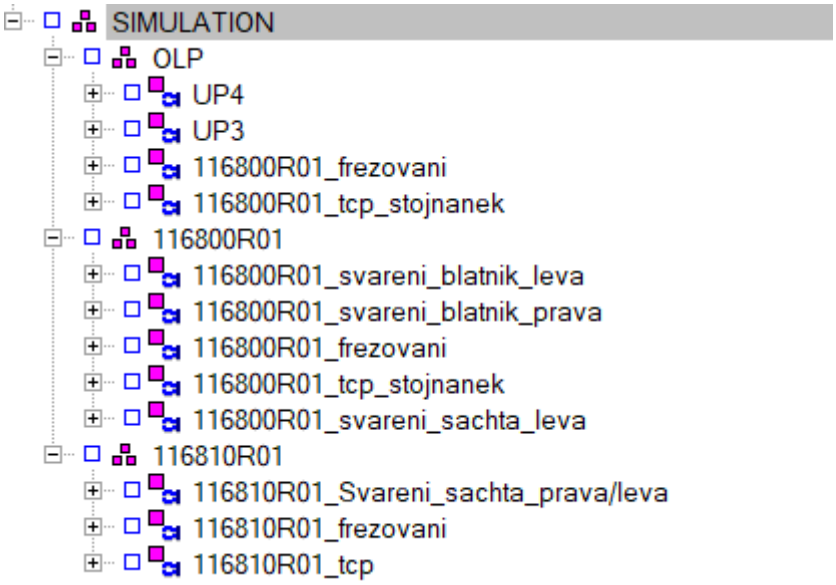
PERT (Program Evaluation and Review Technique) je metoda pro řízení projektů. Používá se pro explicitní započítání rizik do odhadu časového plánu.



Obr. 55 – Kontrolní operace

V projektu jsou tyto operace zohledněny pouze jako Compund Operation bez žádné činnosti. Slouží zde jen jako pomocné informace, jejichž časovou hodnotu lze definovat dle našich předpokladů či výpočtů. Ve virtuálním zprovoznění je důležitý především čas posledního cyklu.

4.9.4 Simulace



Obr. 56 – Simulační operace

V předchozích podkapitolách byl popsán logický sled událostí. Tato podkapitola se zaměřuje na samotné svařovací simulace v PS, včetně všech potřebných svařovacích bodů a tras.

První skupina **OLP** obsahuje čtyři testovací operace ve volném prostoru. Jedná se o skupinu testovacích operací.

UP4 je operace sváření 14 bodů, odpovídajících svářecí operaci druhého robotu. Tato operace byla nevyužitelná, jelikož byla špatně umístěna v prostoru, pohybovala se na místě, kde není žádný polotovar. Jedná se o testovací operaci pro nový typ polotovaru.

UP3 obsahuje přesnou operaci určenou pro svaření 3 bodů blatníku, umístěného excentricky vlevo. Tato operace odpovídá operaci svareni_blatnik_leva, ale oproti ní je funkční.

Další skupina **116800R01** (strana BLATNÍK) zahrnuje operace prvního robotu (ROBOT_B), **116810R01** (strana ŠACHTA) poté operace druhého robotu (ROBOT_S). Obě obsahují svářecí operace, frézovací operace (seřízení svářecí hlavy), TCP operace (pro určení aktuální hodnoty TCP, eliminace chyb).

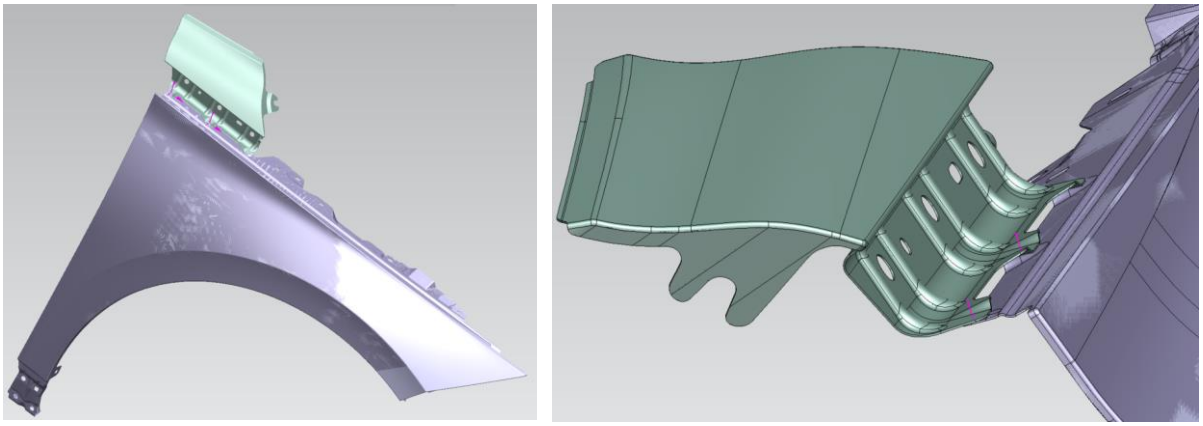
ROBOT_S má za úkol svařit všech 14 bodů jedné šachty a 5 bodů druhé šachty, zbylých 5 bodů má z důvodu dosahu na starosti ROBOT_B.

ROBOT_B je určen ke sváření polotovaru typu blatník vždy ve 3 bodech. Navíc ještě vypomáhá svařit 9 bodů na polotovaru typu šachta z důvodu lepšího dosahu.

Svářecí operace robotu 116800 (ROBOT_B), konkrétně sváření blatníku pravého (3 body) a levého (3 body), se v původně nacházelo v nefunkčním stavu. Problémem byly chybně („ustřelené“) zadané svářecí body, a také se v operacích objevovaly svářecí body určené k operaci svareni_sachta_leva. Poslední operace svareni_sachta_leva určená ke svaření 9 bodů byla již v pořádku.

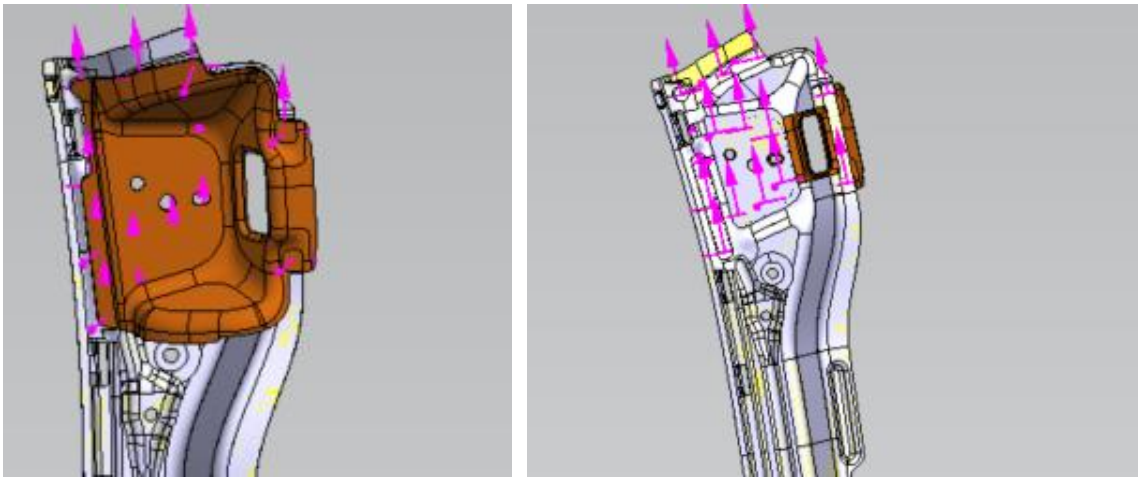
Svářecí operace u druhého robotu (ROBOT_S) se nacházely v podobném stavu, kdy musely být znovu vytvořeny některé svářecí body. U sváření polotovarů šachty by navíc docházelo ke kolizi s upínacími prvky vlivem nedefinované pracovní pozice klapek WORK.

4.10 Bodové svařování – body svaru



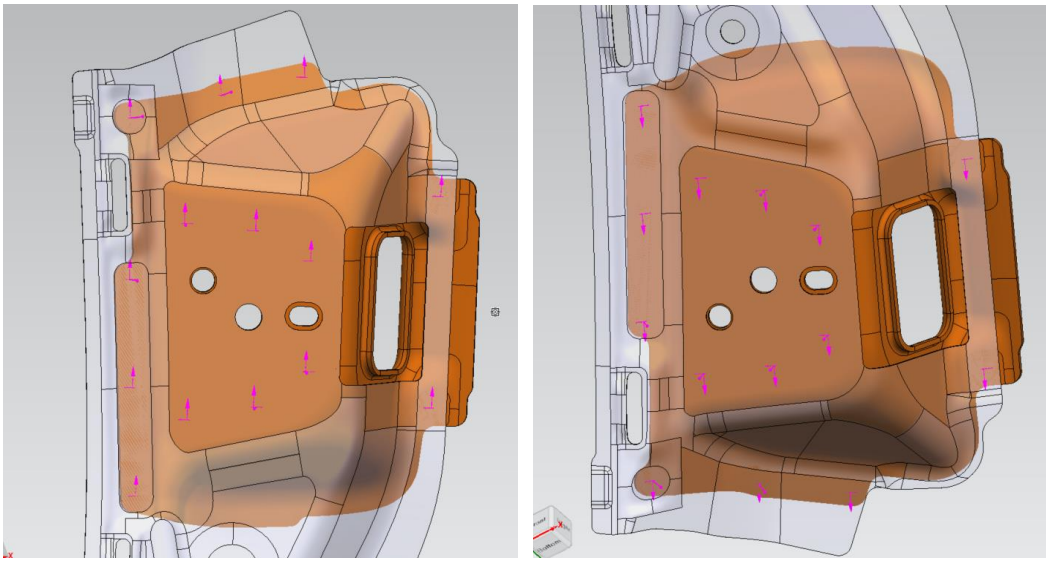
a) b)

Obr. 57 – a) Svářený polotovar typu Blatník, b) Detail na svářecí body



a) b)

Obr. 58 - a) Svářený polotovar typu šachta, b) Pohled z opačné strany



a) b)

Obr. 59 - a) Detail na svářecí body polotovary typu šachta, b) Detail 2

4.11 Signály

Z pohledu signálové struktury obsahovalo pracoviště **na počátku pouze základní KEY signály** z programu PS. Ty ovšem slouží jen k internímu fungování animací v PS, konkrétně k signalizaci o dokončení operace. Reálné signály, potřebné k řízení všech komponent procesu, včetně signálů robotu, ovšem chybí.

Nalezneme zde dva jediné užitečné signály, a to z bezpečnostního laserového skeneru pracovního prostoru obsluhy na obou stranách.

Signal Viewer

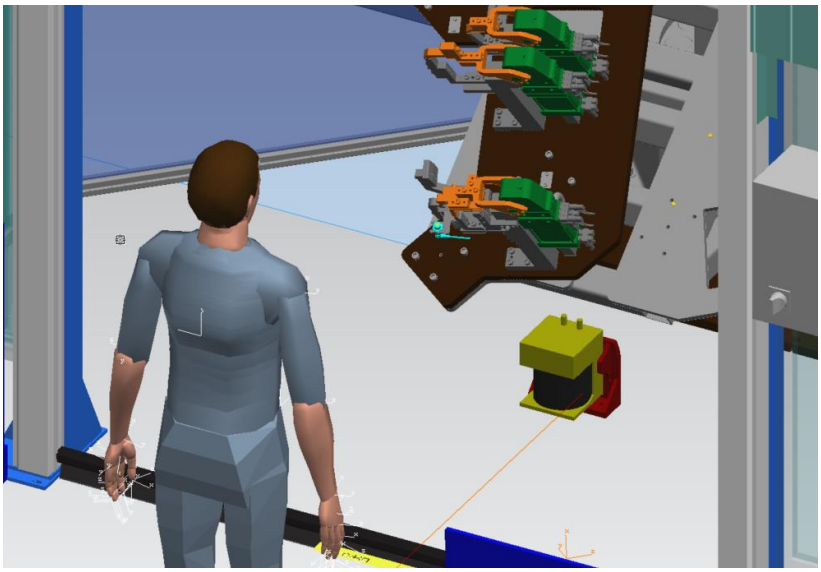
Signal Name	Memory	Type	Robot	Address	IEC F	PLC Co	Exte	Resource	Comment
kr210r2700extra_end_UP4		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_UP3		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_frezovani		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_tcp_stojnanek		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_svareni_blatnik_leva		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_svareni_blatnik_prava		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_frezovani		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_tcp_stojnanek		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116800R01_svareni_sachta_leva		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116810R01_Svareni_sachta_prava/leva		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116810R01_frezovani		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
kr210r2700extra_end_116810R01_tcp		BOOL		No Address	I			kr210r2700extra	
Laser Scanner		BOOL		No Address	I	☑		Laser Scanner	
VW_Laser Scanner_Pn LWL		BOOL		No Address	I	☑		VW_Laser Scanner_Pn LWL	
Laser Scanner		BOOL		No Address	I	☑		Laser Scanner	
VW_Laser Scanner_Pn LWL		BOOL		No Address	I	☑		VW_Laser Scanner_Pn LWL	

Obr. 60 – Tabulka původní signálové struktury v PS

4.12 Další / Senzorika

V počátečním stavu se v PS nenacházel žádný jiný signál, než na obr. 60. V projektu se nacházely modely senzorů v upínacím prostoru, ale nebyla vytvořena žádná logika.

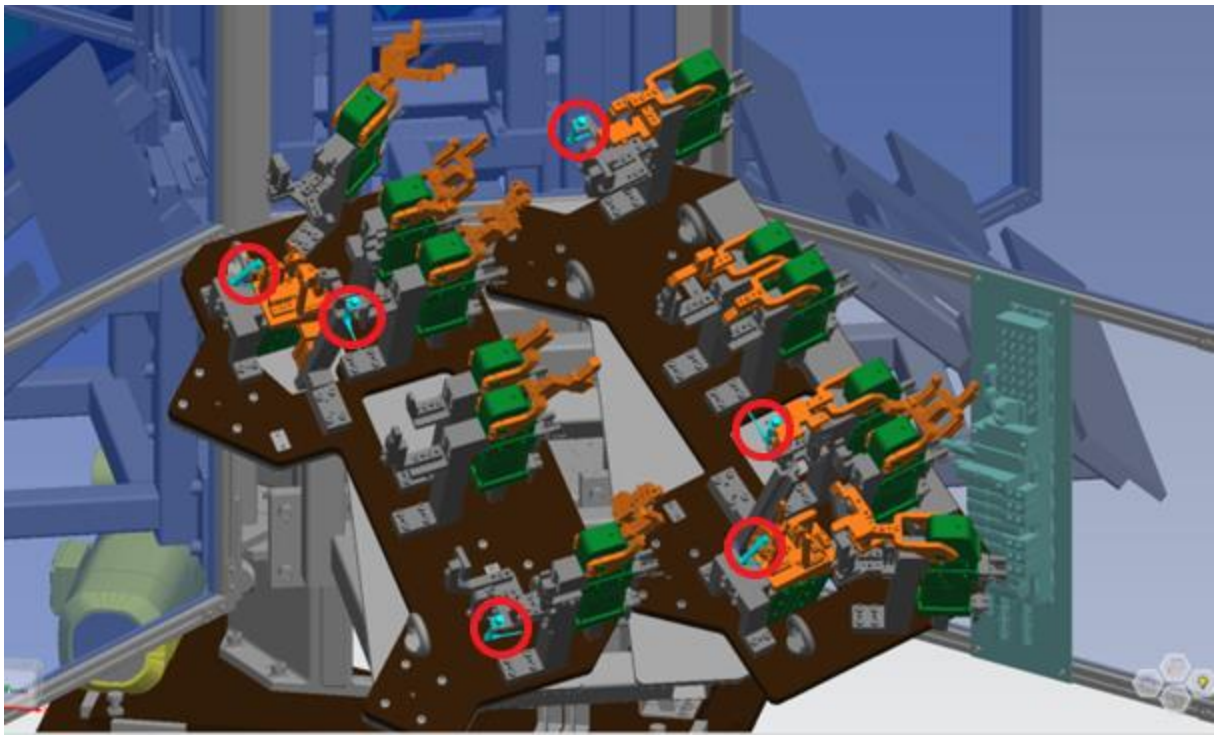
Laserový skener (obr. 61) u upínacího zařízení je bezpečnostní laserový skener. Slouží k detekci obsluhy v pracovním prostoru stolu, zabránění nechtěnému zavírání dveří a rotaci stolu.



Obr. 61 – Laserový skener pracovního prostoru obsluhy

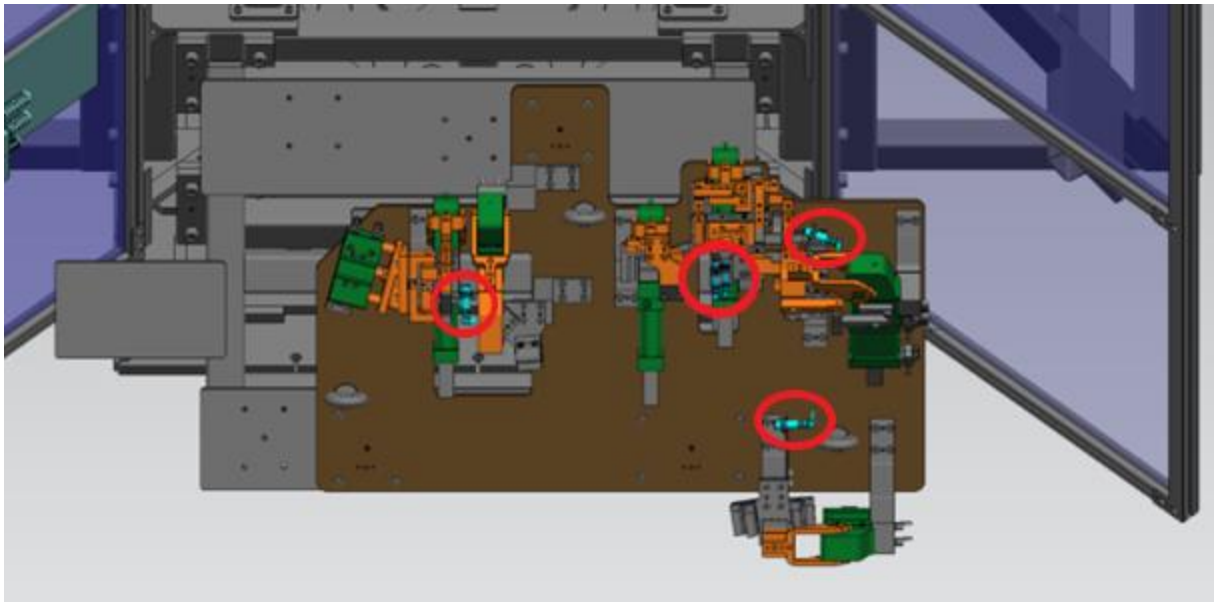
Indukční čidla jsou na rotačním stolu pro polotovary typu šachta umístěna na jednom pohyblivém upínacím prvku a na dvou dalších stacionárních místech pro každý polotovar (znázorněny světle modrou barvou) (obr. 62). Pomocí jejich zpětné vazby můžeme bezpečně určit, jestli se před začátkem upínání nachází polotovar na místě, a třetí senzor potvrdí po dojetí

do polohy CLOSE přítomnost polotovaru v dalším potvrzovacím bodě. Tento postup upínaní zajišťuje vysokou spolehlivost.



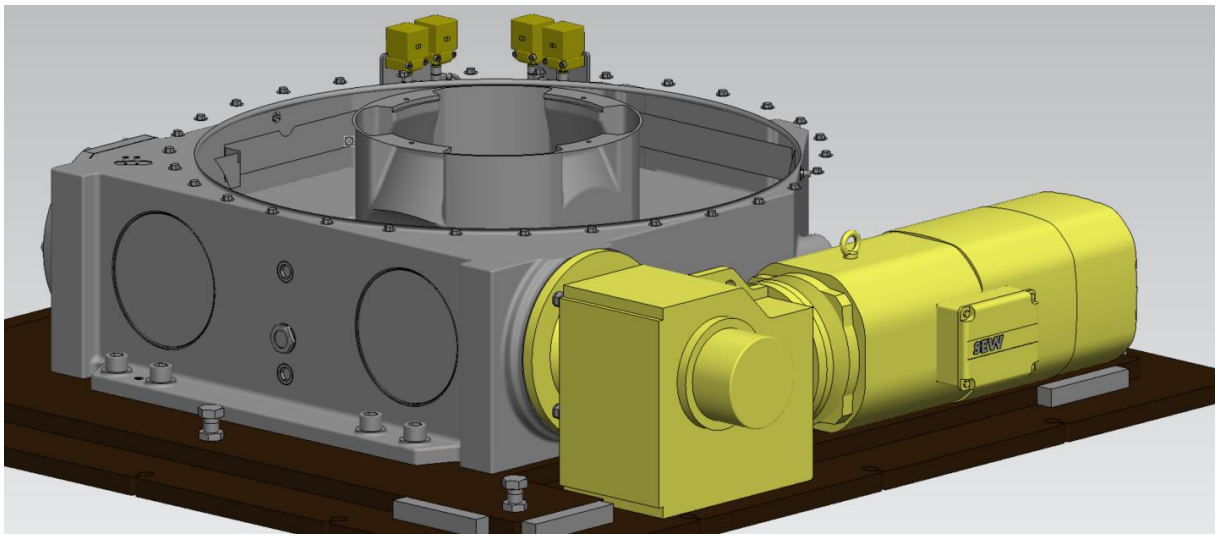
Obr. 62 – Umístění indukčních senzorů na rotačním stole polotovaru šachta

U druhého uchopovacího zařízení polotovaru blatník se nachází pět indukčních senzorů (obr. 63). Fungují na stejném principu jako předchozí varianta, jeden senzor je dynamický a čtyři statické. V tomto případě upínáme jen jeden polotovar.

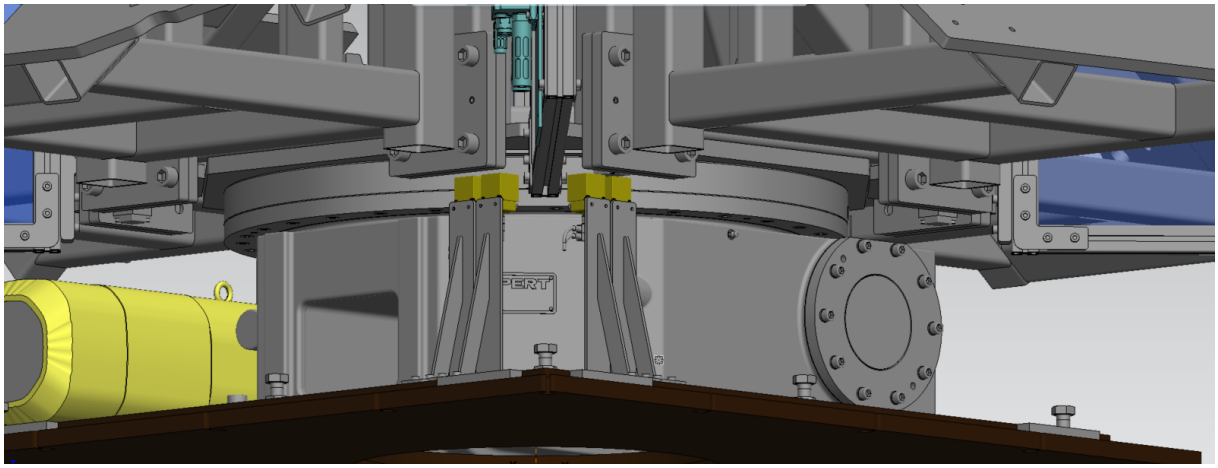


Obr. 63 - Umístění indukčních senzorů na rotačním stole polotovaru blatník

Senzorika u pohonu otočného stolu je tvořena čtyřmi fotoelektrickými senzory, které jsou určeny ke správnému definování koncové polohy, a tím zajišťují zpětnou vazbu nutnou k přesnému polohování stolu.

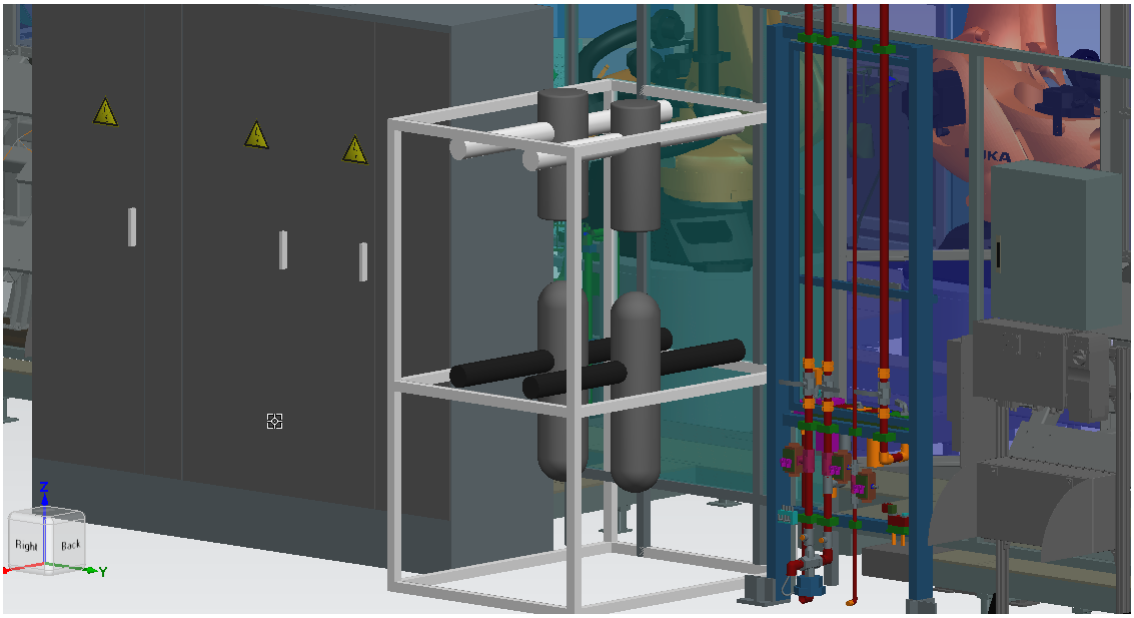


Obr. 64 – Laserové skenery koncových poloh rotačního stolu (žlutě)



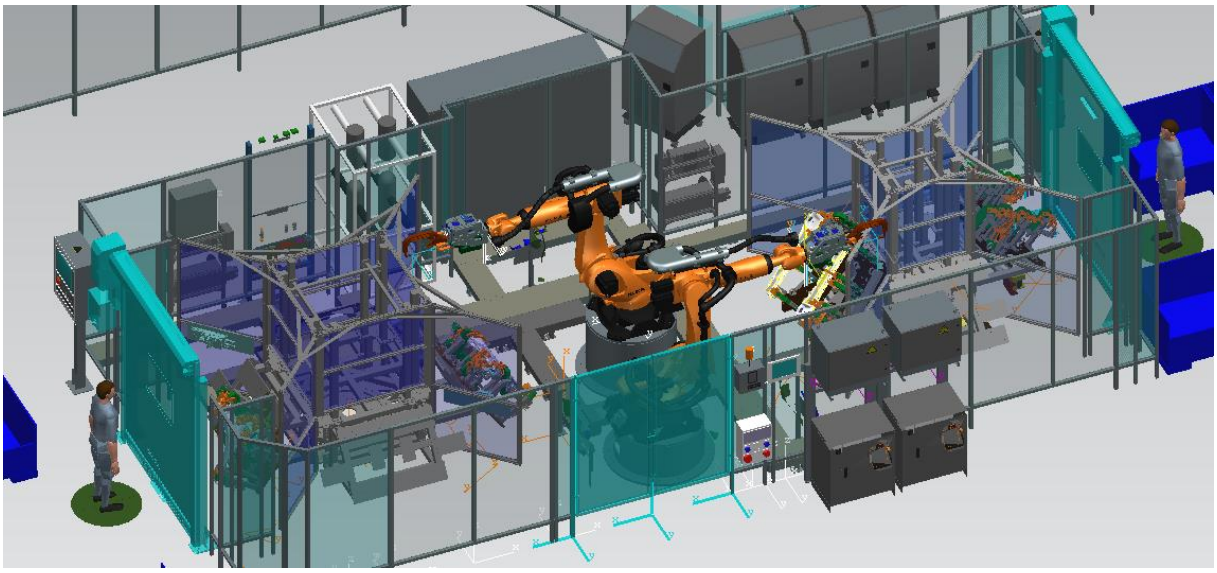
Obr. 65 - Laserové skenery koncových poloh rotačního stolu (žlutě)

Rozvody pneumatiky, filtry a vzdušníky jsou nedílnou součástí výrobní linky.



Obr. 66 – Rozvody pneumatiky a vzdušníky

Vchody na pracoviště (obr. 67). Uprostřed boční, vlevo a vpravo hlavní pracovní vchody pro obsluhu.



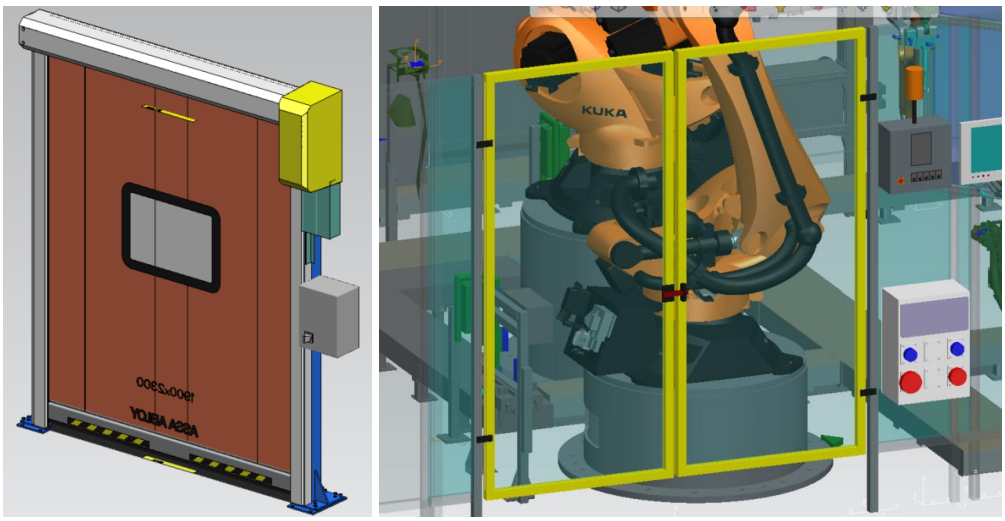
Obr. 67- Bezpečnostní dveře pracoviště

Bezpečnostní vysokorychlostní dveře ASSA ABLOY RR 300 PLUS (roz. 1900x2300mm). Jedná se o průmyslové rolovací dveře poháněné asynchronním motorem, řízeným pomocí integrovaného frekvenčního měniče.

Po instalaci je nutné nastavit polohy OPENED/CLOSED a žádané rychlosti pohybu. Následně je možné dveře ovládat jednoduchými příkazy OPEN/CLOSE skrze PLC a získávat zpětnou vazbu.

Dále mohou být dveře osazeny fotoelektrickými závorami a bezpečnostní lištou s protiváhou, zajišťující naprostou bezpečnost před rázovým stykem s obsluhou. V případě výpadku energie je možné ovládat dveře ručně díky integrovanému protizávaží.

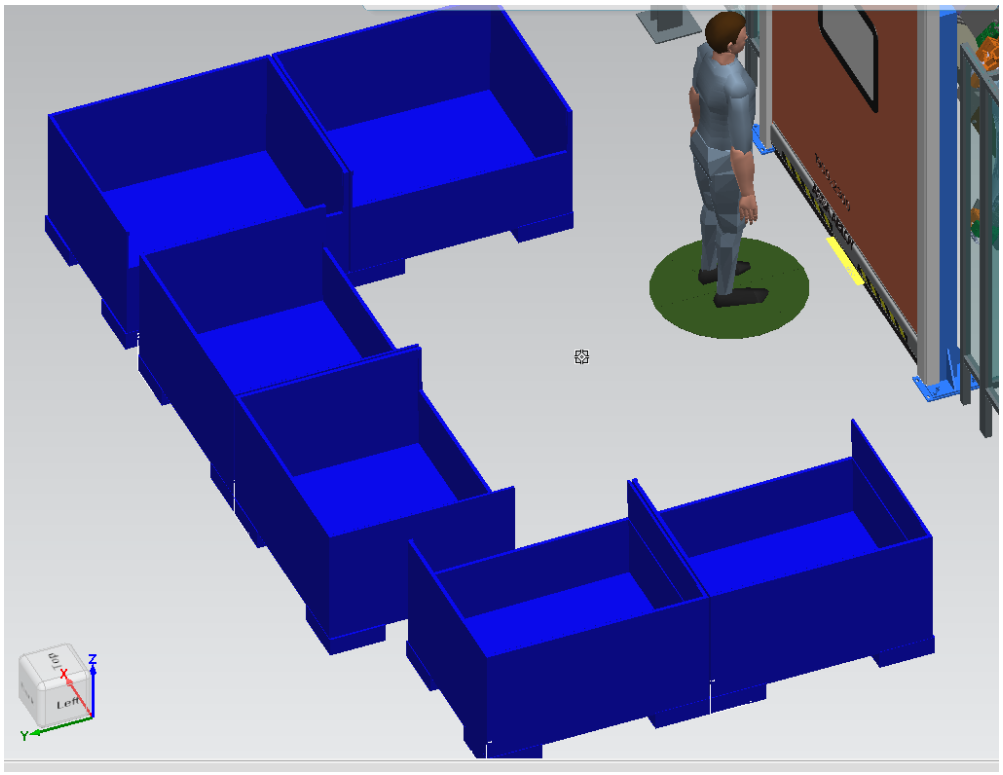
Boční vchod je umožněn skrze standardní ochranné průhledné průmyslové dveře šířky 2000 mm. Bezpečnost bude řešena skrze PLC a otevření bude možné pouze po stisknutí bezpečnostního tlačítka umístěného vedle dvěří.



a) *b)*

Obr. 68 – a) Bezpečnostní dveře hlavní, b) Dveře boční

Kontejnery obsahující polotovary a hotové díly. Jedná se o klasické paletové kontejnery naplněné polotovary a hotovými díly.



Obr. 69 - Paletizace

Analýza současného stavu robotického pracoviště přinesla detailní pochopení fungování jednotlivých prvků, z nichž se skládá, a linky jako celku. Díky těmto informacím byl také zajištěn širší pohled na celé pracoviště, což bylo nezbytné pro následné správné virtuální zprovoznění celku.

5 VÝBĚR VYUŽITÝCH KOMPONENT

První část práce byl věnován rozboru současného pracoviště, a byl určen počáteční bod. Dalším krokem je určení dodatečných prvků, které potřebujeme znát před započetím virtuálního zprovoznění. Jedná se především o volbu modelu PLC, množství řízených frekvenčních měničů a způsob řízení virtuálního kontroléru.

5.1 Typ PLC

V této práci budou využity k virtuálnímu zprovoznění programy firmy SIEMENS (TIA Portal a Process Simulate). Z toho důvodu bylo zvoleno PLC od stejné firmy.

V současné době se můžeme setkat se třemi řadami PLC, a to: S7–300, S7-1200 a S7-1500. S modelem 300 se setkáme již jen ve starých továrnách a dále se nevyrábí. Moderní model 1500 nahradil dřívější variantu 1200 a stal se standardní vlajkovou lodí firmy SIEMENS.

V práci bude využit konkrétně model SIMATIC S7-1500 Compact CPU 1511C-1PN. Jedná se o modulové PLC střední cenové kategorie.

Model Compact obsahuje:

- Operační paměť 175 KB pro programy
- Operační paměť 1 MB pro data
- Modul 16xDI
- Modul 16xDO
- Modul 5xAI a 2xAO
- 6x vysokorychlostní čítač
- 4x vysokorychlostní výstupy pro PWM modulaci
- 2x Porty PROFINET

5.2 Frekvenční měniče

Robotické pracoviště obsahuje několik měničů. Obě bezpečnostní dveře obsahují měniče, které jsou ovšem řízeny interně a pro uživatele standardně programově neměnné. Komunikace s PLC zde funguje skrze jednoduché povely OPEN/CLOSE a zpětná vazba skrze OPENED/CLOSED a ERROR. Jelikož v projektu uvažujeme laserový skener pracovního prostoru obsluhy, není tedy nutné dveře osazovat laserovou bezpečnostní sítí.

Další dva měniče jsou využity k řízení asynchronních motorů pohánějících rotační stůl. Pokud bychom chtěli pouze řídit frekvenci motorů, bylo by možné využít pouze jeden, ale přišli bychom o PID regulaci polohy. Z toho důvodu byly zvoleny dva frekvenční měniče.

V rámci práce byly zvoleny měniče od firmy SIEMENS, konkrétně G120. Firmy nabízí primárně měniče řady S120 a G120. Varianta G120 je ve většině případů levnější a v aplikaci řízení polohy rotačních stolů s nízkou dynamikou naprosto postačující.

a) *b)*

Obr. 70 – Využité a) PLC, b) frekvenční měnič G120, c) HMI

5.3 PLC program

K naprogramování zvoleného PLC S7-1500 byl využit doporučený software od firmy SIEMENS TIA Portal v16. Jedná se o jedno z nejpoužívanějších programovacích prostředí pro PLC.

Kromě běžného rozhraní bylo také využito rozšíření SINAMICS Startdrive v16. Jedná se o rozšíření pro TIA Portal umožňující práci s frekvenčními měniči a technologickými objekty (TO). Kromě řízení v reálném čase také umožňuje vytvoření tzv. virtuálních os. Díky tomu jsme schopni komplexně řídit proces co nejpodobněji reálnému provedení a při aplikaci je program PLC již předpřipraven, čímž šetří čas nutný ke změně programu.

6 VIRTUÁLNÍ PRACOVIŠTĚ

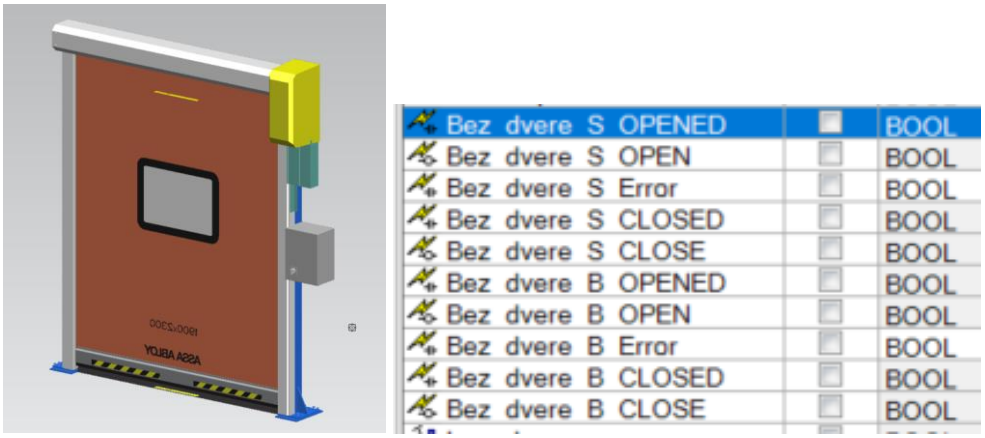
Po výběru využitých komponent, byla práce připravena k započetí virtuálního zprovozňování, které můžeme v zásadě rozdělit do dvou kategorií. Jedná se o virtuální pracoviště a virtuální kontrolér.

Pracoviště má za úkol vytvořit vizuální simulaci zadané problematiky, včetně vytvoření logiky a signálové struktury mezi jednotlivými prvky. Cílem je vytvořit simulaci, která je co nejvěrnější skutečnosti, včetně signálové struktury.

K simulaci byl použit program **Process Simulate**, jehož signálová logika je později ovládaná skrze řídící PLC, simulované skrze software **PLC SIM Advanced v2.**

6.1 Bezpečnostní dveře hlavní

Před zapojením průmyslových dveří do provozu je v reálném prostředí nutné provést prvotní kalibraci. Prvním krokem byla definice pracovních poloh (standardně volíme pouze dvě) a následně volíme rychlost otevírání/zavírání, popřípadě je možné povolit/zakázat funkce typu Soft Start atd. Samotné ovládání dveří je poté limitováno pouze na povelové signály OPEN/CLOSE a stavové OPENED/CLOSED.



a) *b)*

Obr. 71 – a) Bezpečnostní dveře hlavní, b) Signálová struktura

Výrobce nabízí provedení s fotoelektrickými závorami pro zajištění vyšší bezpečnosti obsluhy. V pracovním prostoru uvažujeme laserový skener, zamezující neoprávněnému zavření. Z toho důvodu nejsou závory nezbytné, ale mohou fungovat jako sekundární bezpečnostní prvek ke zvýšení bezpečnosti. V práci se uvažuje s laserovým skenerem i se závorami, vysílajícími chybový signál Error. Signálovou strukturu každých dveří poté představuje pět signálů.

6.2 Bezpečnostní dveře boční

Boční vchod k robotickému pracovišti je tvořen jednoduchými pantovými dveřmi se stínícím sklem. Z bezpečnostních důvodů je zde uvažován elektrický zámek, který se nachází v normálním stavu v pozici LOCK.

Signálová logika je tvořena ovládacími signály LOCK/UNLOCK a zpětnovazebním signálem CLOSED z indukčního snímače.

Dvere_Bocni_LOCK		BOOL
Dvere_bocni_UNLOCK		BOOL
Dvere_bocni_ZAVRENY		BOOL

a) *b)*

Obr. 72 - a) Bezpečnostní dveře boční, b) Signálová struktura

6.3 Rotační upínací zařízení

V reálném provedení by elektropohon stolu byl ovládán skrze frekvenční měnič a skrze řídící instrukce PLC. Toto provedení bylo následně realizováno v softwaru TIA Portal.

V rámci softwaru Process Simulate uvažujeme jednoduchou signálovou logiku MOVE TO a zpětnou vazbu o dosažení polohy. Toto řešení je zcela dostačující pro řízení procesu v automatickém režimu. Využití manuálního režimu PLC je předpokládáno pouze za účelem instalace, kalibrace a servisu.

Rot_Stul_B_At_Pos1_RVen		BOOL		129.7	I129.7	✓	ROBOT
Rot_Stul_B_At_Pos2_LVen		BOOL		130.0	I130.0	✓	ROBOT
Rot_Stul_B_position		REAL		No Address	I		
Rot_Stul_B_ToPos1_RVen		BOOL		127.7	Q127.7	✓	ROBOT
Rot_Stul_B_ToPos2_LVen		BOOL		128.0	Q128.0	✓	ROBOT
Rot_Stul_S_At_Pos1		BOOL		129.5	I129.5	✓	ROBOT
Rot_Stul_S_At_Pos2		BOOL		129.6	I129.6	✓	ROBOT
Rot_Stul_S_position		REAL		132	I132		ROBOT
Rot_Stul_S_ToPos1		BOOL		128.2	Q128.2	✓	ROBOT
Rot_Stul_S_ToPos2		BOOL		128.1	Q128.1	✓	ROBOT

Obr. 73 – Rotační stůl – signálová struktura

Pokud bychom požadovali propojení aktuální hodnoty natočení stolu, bylo by nutné odesílat hodnotu o aktuální poloze virtuální osy v TIA portálu do softwaru Process Simulate a cyklicky vyvolávat operaci MOVE TO POSITION, což by způsobilo značné zatížení procesoru. V zájmu plynulosti simulace je uvažováno standardní řešení, kdy nastavíme rychlost animace na stejnou hodnotu jako rychlost virtuálních pohonů v TIA.

6.3.1 Upínací prvky

Počet a tvar upínacích prvků se liší dle typu polotovaru. Stůl s polotovary typu šachta obsahuje dvojici upínacích ploch v každé pozici, kde každá plocha obsahuje sedm upínacích klapek. Celkově tedy každá pozice obsahuje čtrnáct klapek.

Oproti tomu stůl s polotvary typu blatník má pouze jednu upínací plochu, v každé pozici s osmi klapkami.

Jednotlivé pneumatické ventily jsou umístěny do centrálního ventilového bloku (VB), umístěného u každé upínací plochy rotačního stolu (celkem šest). V práci uvažujeme VB od firmy SMC s komunikačním modulem EX 260 (systém k sériovému přenosu dat). Komunikace mezi řídícím PLC a VB může probíhat přes celou řadu komunikačních protokolů, v práci probíhá komunikace skrze Profinet s šestnáctibitovým analogovým vstupem a výstupem.

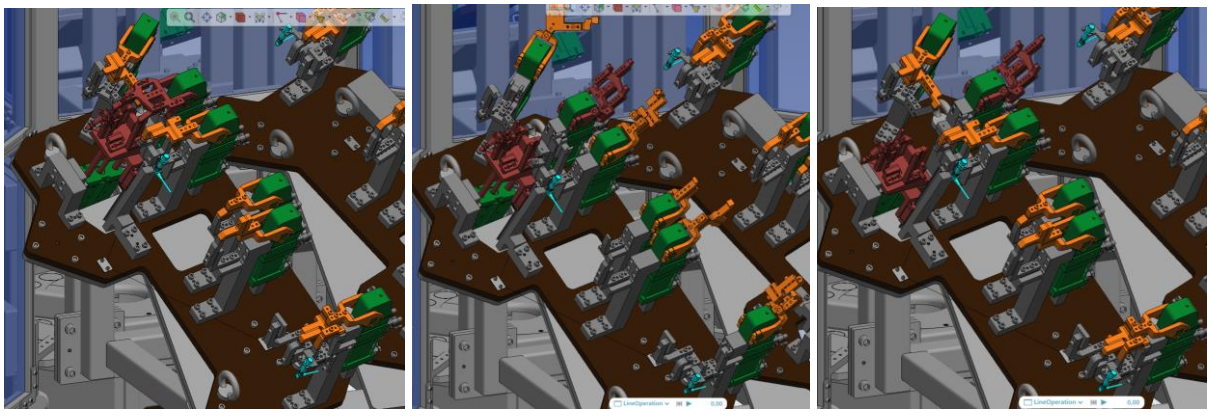
Dále existují **dvě možnosti uspořádání VB**. V první variantě jsou všechny klapky řízeny skrze jeden centrální ventil. Výhodou je cena (méně fyzických ventilů), nevýhodou pouze dvě centrální polohy a žádná zpětná vazba z jednotlivých klapek.

Druhou variantou je využití jednotlivých ventilů ke každé klapce. Výhodu je zpětná vazba z každé klapky (vyšší bezpečnost) a možnost více stavů než jen OPEN/CLOSE. Nevýhodou jsou pořizovací náklady a zástavbový prostor.

V práci byla vybrána druhá varianta. Důvodem byl také fakt, že je kromě standardní pozice OPEN/CLOSE u uchopovacích prvků typu šachta vyžadována pozice WORK. Při upínání polotovaru jsou všechny klapky v pozici OPEN, kromě klapky č. 1. Ta obsahuje tři bodce určené ke správnému prvotnímu umístění polotovaru. Po umístění polotovaru dojde k zavření všech klapek a následnému otevření klapky č. 1 a 4, díky čemuž se uvolní místo pro svářecí hlavu robotu.

POZICE/KLAPKY	OPEN	CLOSE	WORK
Klapka 1	0	0	1
Klapka 2	1	0	0
Klapka 3	1	0	0
Klapka 4	1	0	1
Klapka 5	1	0	0
Klapka 6	1	0	0
Klapka 7	1	0	0

Tabulka 2 – Tabulka stavů „klapek“ v jednotlivých pozicích. 1 – OPEN, 0 - CLOSE



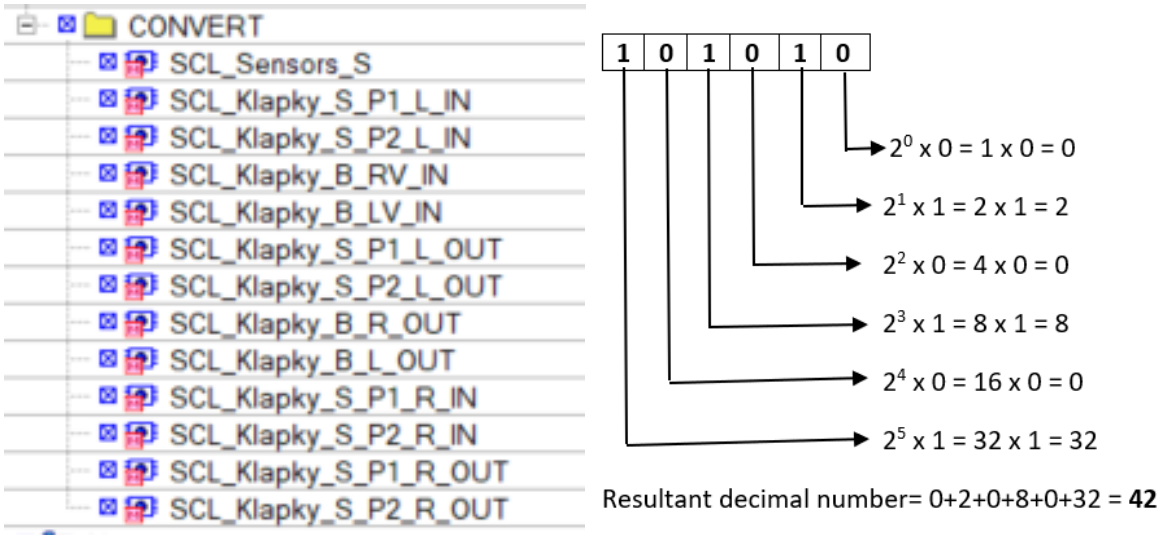
Obr. 74 – Up. Prvky v pozici a) CLOSED, b) OPENED, c) WORK

Pokud by v praxi došlo k rozhodnutí přejít k první variantě, stačí jen lehce upravit program, což by v opačném případě bylo komplikovanější.

Z pohledu PS bylo dále nutné převést zpětnovazební (STATUS) signály (OPENED/CLOSED) z jednotlivých klapek datové proměnné BOOL do centrální proměnné typu WORD (16bitová proměnná odpovídající přenosu komunikačního modulu VB), kde každý

bit představuje stavovou BOOL proměnnou jednotlivého upínacího prvku. Následně bylo nutné zrcadlově provést operaci převodu z řídící (CONTROL) proměnné WORD na jednotlivé kontrolní (OPEN/CLOSE) bity.

Software Process Simulate nenabízí předpřipravené podprogramy k převodu BOOL proměnné na WORD a obráceně. Proto bylo nutné tyto cyklické podprogramy naprogramovat. Flexibilita PS spočívá v podpoře Strukturovaného programovacího jazyku (SCL), který je využíván například v PLC programování.



a) *b)*

Obr. 75 – a) Prvky řídící dodatečnou logiku signálů, b) Ukázka převodu

```
// START PROGRAM
IF #IN_0 = 1 THEN
    #val_IN_0 := 1;
ELSE
    #val_IN_0 := 0;
END_IF;
IF #IN_1 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_2 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_3 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_4 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_5 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_6 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_7 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_8 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_9 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_10 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_11 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_12 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_13 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_14 = 1 THEN ... END_IF;
IF #IN_15 = 1 THEN ... END_IF;

#OUT_WORD := #val_IN_0+ #val_IN_1 +
#val_IN_2 + #val_IN_3 +#val_IN_4 +
#val_IN_5 + #val_IN_6 + #val_IN_7 +
#val_IN_8+ #val_IN_9+ #val_IN_10+
#val_IN_11+ #val_IN_12+ #val_IN_13+
#val_IN_14+#val_IN_15;
// END PROGRAM
```

a)

```
// START PROGRAM
//
#temp_WORD := #IN_WORD;
IF #temp_WORD >= 32768 THEN
    #OUT_15 := 1;
    #temp_WORD := #temp_WORD - 32768;
ELSE
    #OUT_15 := 0;
END_IF;
IF #temp_WORD >= 16384 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 8192 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 4096 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 2048 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 1024 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 512 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 256 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 128 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 64 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 32 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 16 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 8 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 4 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 2 THEN ... END_IF;
IF #temp_WORD >= 1 THEN ... END_IF;

// END PROGRAM
```

b)

Obr. 76 – Program pro převod a) BITS –⟶ WORD, b) WORD ⟶ BITS

Na obr. 76 a) Se nachází jednoduchý program pro převod proměnných typu BOOL na WORD. Jelikož WORD je v PS pouze v dekadickém tvaru, program funguje na principu sčítání váhových hodnot, které jednotlivé bity WORDU představují (obr. 75 b). Jedná se o spolehlivé jednoduché řešení. Sofistikovanější variantou by bylo použití cyklické funkce FOR, bohužel SCL editor v PS neefektivně pracuje s proměnnými typu Array, které jsou v tomto cyklu vhodné pro použití. Z toho důvodu byla zvolena původní primitivní a stabilní varianta.

Na obr. 76 b) se nachází další jednoduchý program pro převod proměnných typu WORD na BOOL. Program funguje stejně jako výše zmíněný převod, avšak zrcadlově. Dočasná proměnná temp_WORD uloží aktuální hodnotu vstupního WORDu a provede porovnání s hodnotou posledního (15.) bitu. Jestliže je hodnota větší, znamená to, že bit č. 15 je TRUE, dojde k odečtení jeho hodnoty z temp_WORD a program pokračuje v porovnávání dalších bitů. Pokud hodnota není větší, bit je rovný nule a program pokračuje dál. V softwaru TIA Portal by bylo vhodnější sofistikovanější řešení zmíněné výše, ale v PS se jedná o optimální řešení.

Celkově odesíláme z šesti VB dvanáct analogových signálů. Strana blatník obsahuje pouze dvě upínací plochy a postačují dva VB (celkem čtyři analogové signály). U strany šachta bylo nutné využít dva VB v každé poloze (celkem osm analogových signálů).

6.3.2 Senzory upínacího prostoru

Některé upínací prvky byly osazeny indukčními snímači, určenými ke zpětné vazbě o správně upnutém polotovaru. Každá šachta je osazena třemi senzory a blatník pěti. Signály jsou ve stavu TRUE, jakmile se v blízkosti nachází polotovary. Uvažujeme standardní zapojení každého senzoru zvlášť. Druhou variantou by bylo například využití komunikační jednotky IO-link, která by sbírala data senzorů a odesílala jejich stavy skrze jediný kabel.

Sen_B_P1_1		BOOL		124.0	I124.0	✓	ROBOT
Sen_B_P1_2		BOOL		124.1	I124.1	✓	ROBOT
Sen_B_P1_3		BOOL		124.2	I124.2	✓	ROBOT
Sen_B_P1_4		BOOL		124.3	I124.3	✓	ROBOT
Sen_B_P1_5		BOOL		124.4	I124.4	✓	ROBOT
Sen_B_P2_1		BOOL		124.5	I124.5	✓	ROBOT
Sen_B_P2_2		BOOL		124.6	I124.6	✓	ROBOT
Sen_B_P2_3		BOOL		124.7	I124.7	✓	ROBOT
Sen_B_P2_4		BOOL		125.0	I125.0	✓	ROBOT
Sen_B_P2_5		BOOL		125.1	I125.1	✓	ROBOT
Sen_S_P1_11		BOOL		125.2	I125.2	✓	ROBOT
Sen_S_P1_12		BOOL		125.3	I125.3	✓	ROBOT
Sen_S_P1_13		BOOL		125.4	I125.4	✓	ROBOT
Sen_S_P1_21		BOOL		125.5	I125.5	✓	ROBOT
Sen_S_P1_22		BOOL		125.6	I125.6	✓	ROBOT
Sen_S_P1_23		BOOL		125.7	I125.7	✓	ROBOT
Sen_S_P2_11		BOOL		126.0	I126.0	✓	ROBOT
Sen_S_P2_12		BOOL		126.1	I126.1	✓	ROBOT
Sen_S_P2_13		BOOL		126.2	I126.2	✓	ROBOT
Sen_S_P2_21		BOOL		126.3	I126.3	✓	ROBOT
Sen_S_P2_22		BOOL		126.4	I126.4	✓	ROBOT
Sen_S_P2_23		BOOL		126.5	I126.5	✓	ROBOT

Obr. 77 – Signály indukčních senzorů v PS

6.4 Roboty

Dalším neopomenutelným prvkem pracoviště jsou roboty KUKA. Virtuální zprovoznění u nich spočívá ve zprovoznění pohybových operací (vč. nastavení rychlosti, typu, zóny pohybu atd.) a vytvoření signálové struktury, která má za úkol spouštět zmíněné operace a věrně simulovat interní signálovou logiku mezi PLC a robotickým kontrolérem.

6.4.1 Robotické operace

Robotické operace byly v původním stavu nefunkční. Prvním krokem bylo tyto operace zprovoznit.

První robot (ROBOT_S) vykonává celkem tři operace. První operace **Svareni_Sachta_prava/leva** spočívá ve svaření všech 14 bodů polotovaru šachta na pravé straně a 9 bodů na šachtě umístěné vlevo. Důvodem, proč pouze 5 bodů, je omezený dosah robotu. Další dvě operace jsou servisní – **Frézování** a **TCP**.

Frézování probíhá najetím na svařovací stojan, zde dojde k sepnutí senzoru a provede se svářecí operace. Reálná simulace sváření je nahrazena časovou prodlevou po sepnutí senzoru při dosažení frézovacího stojanu.

Poslední operace se provádí najetím robotu na měřící stojan. Při kontaktu robot vyhodnotí aktuální pozici **TCP** a aktualizuje stávající hodnotu v kontroléru.

Druhý robot (ROBOT_B) vykonává celkem pět operací. První z nich je Svareni_Sachta_leva. Jedná se o svaření zbývajících 9 bodů polotovaru šachta, které nebyl první robot schopný vykonat z důvodu dosahu.

Další dvě operace **Svareni_Blatnik_leva** a **Svareni_Blatnik_prava** se týkají polotovaru typu blatník. Dojde ke svaření 3 bodů na polotovaru. Samotné operace se liší pouze pozicí, kdy je polotovar upnut na excentricky umístěných upínacích plochách, jednou vpravo, jednou vlevo.

Poslední dvě operace jsou poté stejné jako u prvního robotu, tzn. **Frézování** a **TCP** a téměř se neliší. Každý robot má svůj Frézovací stojan, ale TCP stojan je pouze jeden společný.

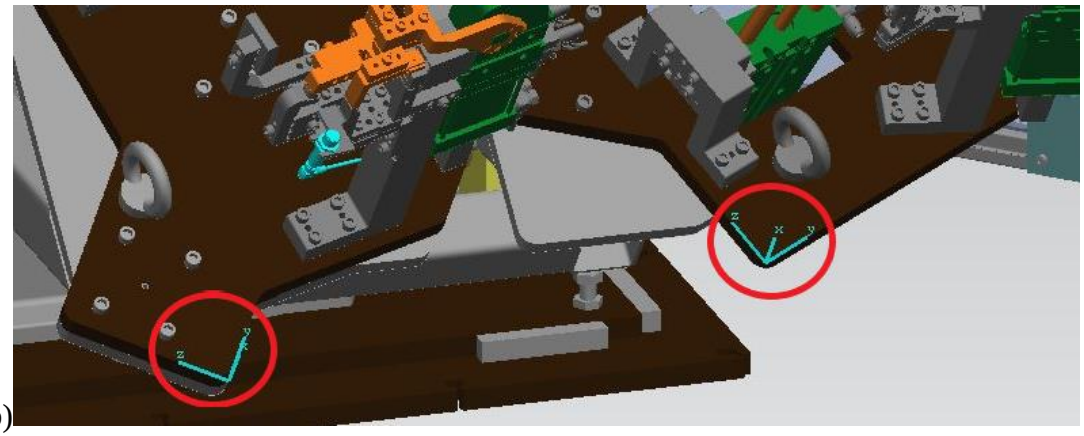
Jednotlivé operace bylo nutné otevřít v Path Edtioru a krok po kroku procházet cestu robotu. Většina chyb byla z důvodu chybně definovaných samotných svářecích operačních bodů. Ty bylo nutné odstranit a vytvořit je znovu. Po tomto postupu s každou operací byly všechny operace zprovozněny. Nakonec byla vytvořena OLP (offline programming) logika robotických operací (obr. 79) a zadány údaje o typu pohybu, rychlosti a zóně (obr. 78a).

Souřadné systémy rotačních stolů byly umístěny do spodních rohů pracovní desky z důvodu vhodné pozice k zaměření (obr. 78b). Všechny upínací prvky jsou poté vztaženy k tomuto SS.

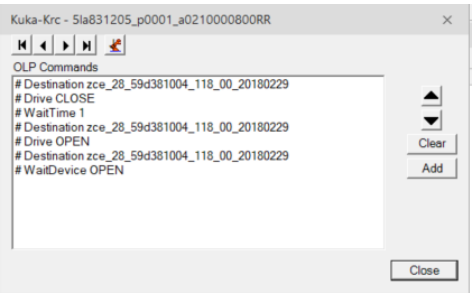
a)

Paths & Locations	Config	Acc	Tool Nr	Base Nr	Motion	Speed	Zone	Storage...	OLP Commands	Duration
116810R01_Svare...										69.89
HOME	S 2 T 10	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE			0
via	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	1 - 1168...	PTP	80 %	C_DIS 5 ...			1.59
O1_P1	S 2 T 10	100 % (d...	1 (Fr) - E...	1 - 1168...	LIN	0.1 m/s	C_DIS 2...		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	2.77
O1_P2	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	1 - 1168...	LIN	0.1 m/s	C_DIS 2...		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	2.91

b)



Obr. 78 – Definování a) bodů operací včetně OLP, b) SS up. prostoru



Obr. 79 – Využité OLP příkazy

Dalším krokem bylo ověřit, že během průchodu dráhou nedochází ke kolizím. Ověřování proběhlo pomocí funkce Collision Mode, kdy dojde k zastavení simulace a barevné výstraze kdykoliv při kontaktu robotu (včetně nástroje) s jakýmkoliv dalším objektem.

6.4.2 Signálová struktura

Po zprovoznění a otestování operací bylo možné vytvořit signálovou strukturu. Stěžejní byly signály spouštěcí jednotlivé operace v PS. Dále byly předpřipraveny další signály, simulující chování reálného kontroléru robotu. Jedná se o signály Req_Op (Required operation) a Start_Op (Start operation).

Chování je následovné: PLC odešle signál s číslem žádané operace, robot po přijetí odešle zpětnou vazbu o obdržení hodnoty a čeká na příkaz Start_Op = TRUE.

Rob_B_OP_HOME_end		BOOL		No Address	I	
Rob_B_OP_HOME_start		BOOL		131.1	Q131.1	ROBOT
Rob_S_OP_HOME_end		BOOL		No Address	I	
Rob_S_OP_HOME_start		BOOL		131.2	Q131.2	ROBOT
Robot_B_blatnik_leva_start		BOOL		129.3	Q129.3	ROBOT
Robot_B_blatnik_prava_start		BOOL		129.4	Q129.4	ROBOT
Robot_B_frezovani_start		BOOL		129.5	Q129.5	ROBOT
Robot_B_sachta_leva_start		BOOL		129.6	Q129.6	ROBOT
Robot_B_tcp_start		BOOL		129.7	Q129.7	ROBOT
Robot_S_frezovani_start		BOOL		130.0	Q130.0	ROBOT
Robot_S_pravaleva_start		BOOL		130.1	Q130.1	ROBOT
Robot_S_tcp_start		BOOL		130.2	Q130.2	ROBOT

Obr. 80 – Spouštěcí signály robotických operací

Seznam předpřipravených signálů určených pro komunikaci mezi PLC a kontrolérem KUKA obr. 82 Process Simulate podporuje možnost připojení virtuálního kontroléru daného výrobce robotů, díky kterému je možné detailněji simulovat celou předpřipravenou signálovou strukturu. K práci ovšem nebyla licence k softwaru KUKA.Sim k dispozici.

V rámci co nejvěrnější kopie programu byl vytvořen v PS SCL program, který simuluje základní logiku mezi PLC a robotickým kontrolérem (obr. 81).

```
1  IF #PNO_motorsON THEN
2      #PNI_motorsOFF := 0;
3      #PNI_motorsON := 1;
4  END_IF;
5  IF #PNO_motorsOFF THEN ... END_IF;
9
10  #PNI_ReqOp := #PNO_ReqOp;
11  #PNI_RobotWorking := 0;
12
13 IF #PNI_ReqOp = 1 AND #PNO_StartOp = 1 THEN
14     #OP_BL1 := 1;
15     #PNI_RobotWorking := 1;
16 ELSE
17     #OP_BL1 := 0;
18 END_IF;
19 IF #PNI_ReqOp = 2 AND ... THEN ... END_IF;
25 IF #PNI_ReqOp = 3 AND ... THEN ... END_IF;
31 IF #PNI_ReqOp = 4 AND ... THEN ... END_IF;
37 IF #PNI_ReqOp = 5 AND ... THEN ... END_IF;
```

Obr. 81 – Struktura podprogramu simulujícího chování robotu

Řádek	Popis
1-8	Simulace spouštění pohonů robotu ON/OFF
10	Simulace zpětné vazby robotu o obdrženém signálu
11	Stavový signál RobotWorking se rovná nule. Pokud dojde dále v programu k zapnutí operace, dojde i k přepsání tohoto signálu.
13+	Pokud dojde k sepnutí signálu StartOp, dojde k zapnutí žádané operace a sepnutí stavového signálu RobotWorking.

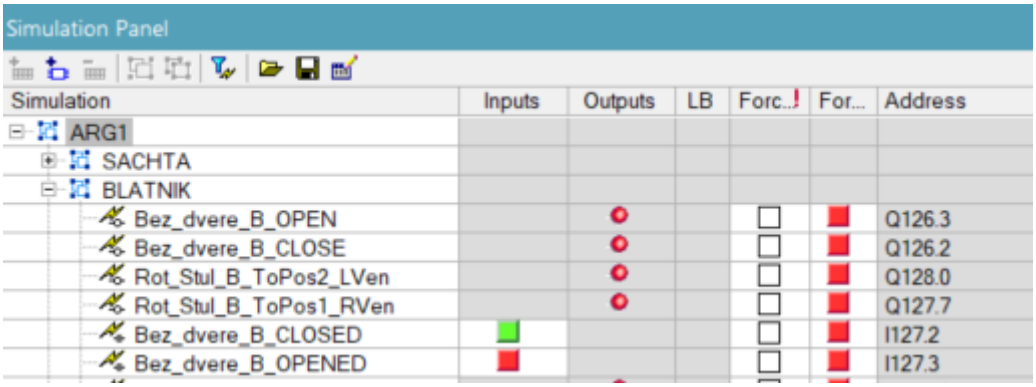
Tabulka 3 – Popis fungování podprogramu (obr. 82)

PNO S stopAtEndOfCycle		BOOL	PNI S stopAtEndOfCycle	No Address	Q				
PNO S stop		BOOL	PNI S stop	No Address	Q				
PNO S startOp		BOOL	PNI S startOp	No Address	Q				
PNO S startAtMain		BOOL	PNI S startAtMain	No Address	Q				
PNO S start		BOOL	PNI S start	No Address	Q				
PNO S reqOp		BOOL	PNI S reqOp	No Address	Q				
PNO S motorsOn		BOOL	PNI S motorsOn	No Address	Q				
PNO S motorsOff		BOOL	PNI S motorsOff	No Address	Q				
PNO B stopAtEndOfCycle		BOOL	PNI B stopAtEndOfCycle	No Address	Q				
PNO B stop		BOOL	PNI B stop	No Address	Q				
PNO B startOp		BOOL	PNI B startOp	No Address	Q				
PNO B startAtMain		BOOL	PNI B startAtMain	No Address	Q				
PNO B start		BOOL	PNI B start	No Address	Q				
PNO B reqOp		INT	PNI B reqOp	No Address	Q				
PNO B motorsOn		BOOL	PNI B motorsOn	No Address	Q				
PNO B motorsOff		BOOL	PNI B motorsOff	No Address	Q				
PNI S runChainOk		BOOL	PNO S runChainOk	No Address	I				
PNI S robotWorking		BOOL	PNO S robotWorking	No Address	I				
PNI S reqOp		BOOL	PNO S reqOp	No Address	I				
PNI S motorsOnState		BOOL	PNO S motorsOnState	No Address	I				
PNI S motorsOffState		BOOL	PNO S motorsOffState	No Address	I				
PNI S cycleOn		BOOL	PNO S cycleOn	No Address	I				
PNI S autoOn		BOOL	PNO S autoOn	No Address	I				
PNI B runChainOk		BOOL	PNO B runChainOk	No Address	I				
PNI B robotWorking		BOOL	PNO B robotWorking	No Address	I				
PNI B reqOp		INT	PNO B reqOp	No Address	I				
PNI B motorsOnState		BOOL	PNO B motorsOnState	No Address	I				
PNI B motorsOffState		BOOL	PNO B motorsOffState	No Address	I				
PNI B cycleOn		BOOL	PNO B cycleOn	No Address	I				
PNI B autoOn		BOOL	PNO B autoOn	No Address	I				

Obr. 82 – Celková signálová struktura robotů v PS

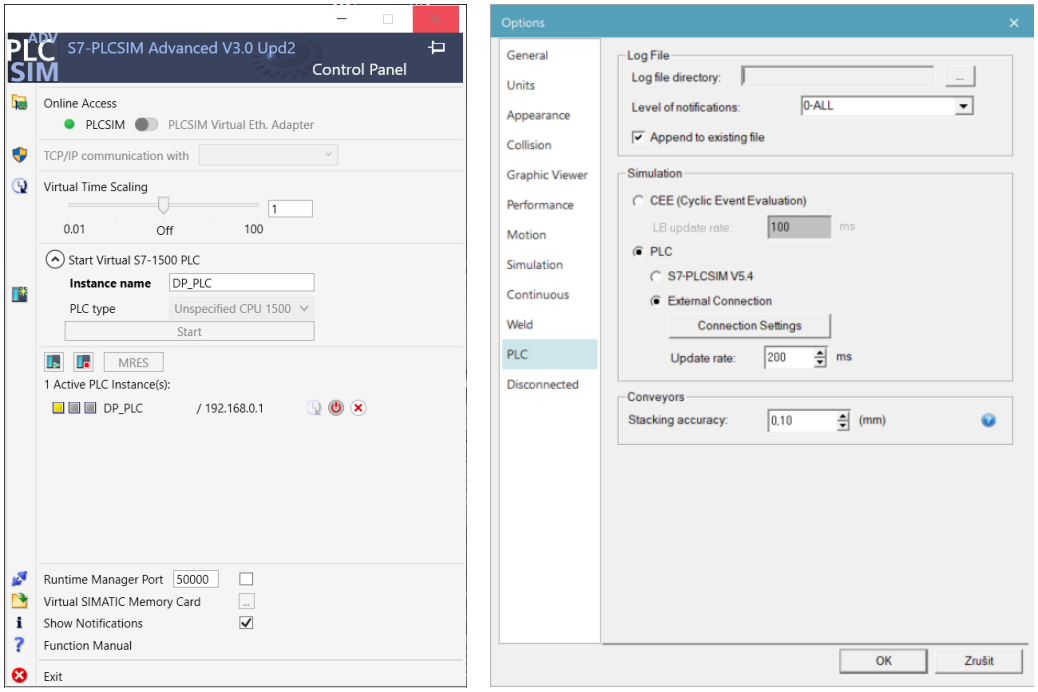
6.5 Simulace a propojení s PLC

Po vytvoření signálové struktury, která je schopná ovládat každý prvek pracoviště dle požadavků, bylo vyzkoušeno jejich fungování v rozhraní PS skrze spuštění interní simulace a manuální přepínaní signálů do žádaných stavů.



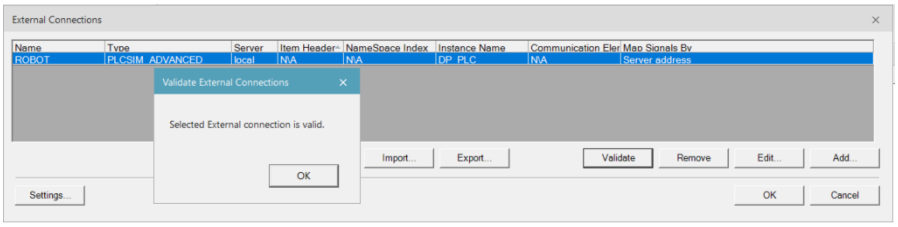
Obr. 83 – Manuální „silové“ zapisování signálů

Následně bylo možné provázat PS s externím ovládáním. V našem případě se jedná o virtuální PLC v softwaru **S7-PLCSIM Advanced V3.0 Upd2**. Jakmile bylo otestováno externí připojení, PS byl dále spojen s virtuálním PLC a připraven na externí řízení.



a) *b)*

Obr. 84 – a) Program PLCSIM, b) Propojení PS a TIA

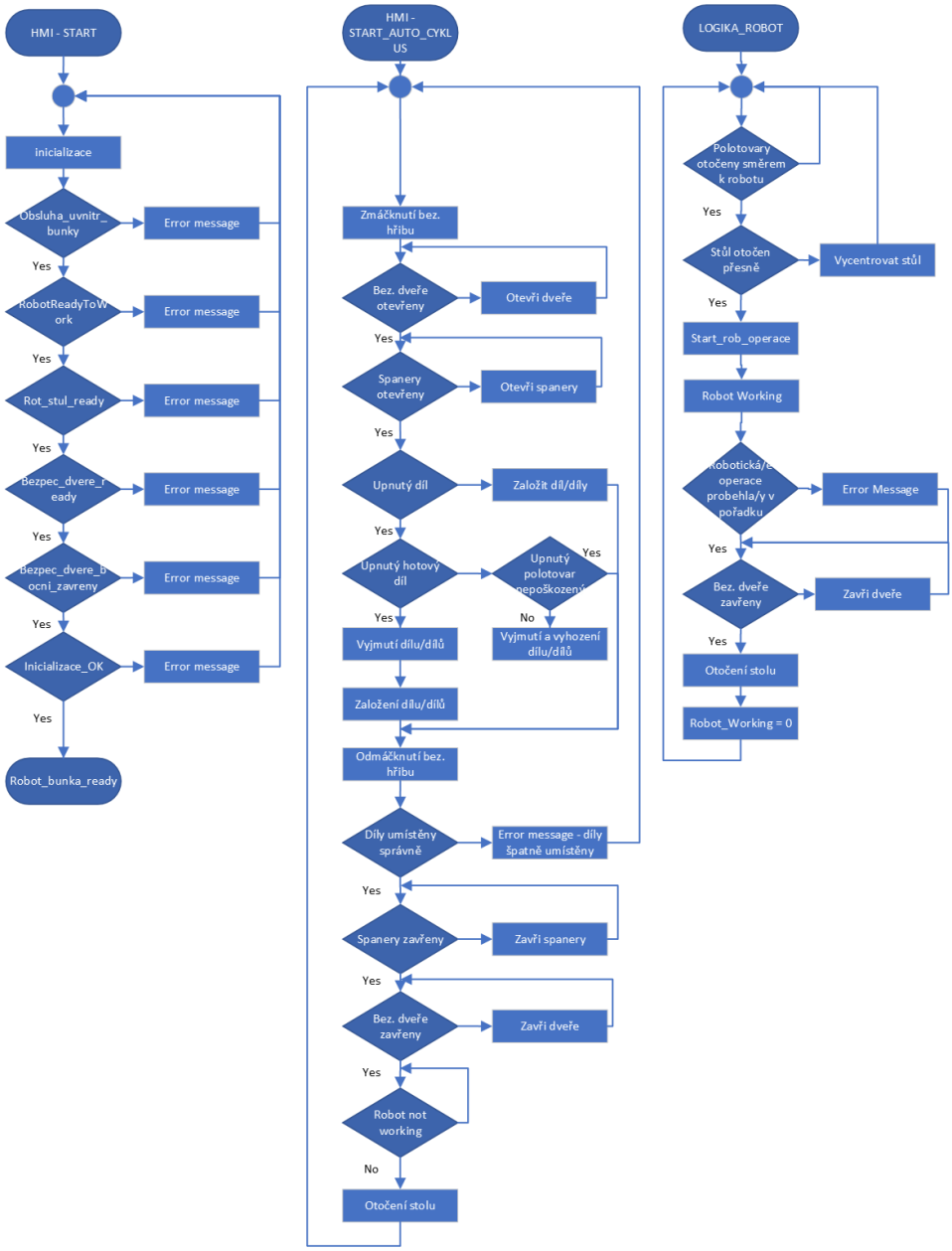


Obr. 85 – Kontrola připojení mezi PS a TIA

7 VIRTUÁLNÍ KONTROLÉR

K virtuálnímu řízení projektu byly využity softwary od firmy SIEMENS. Nejdůležitějším byl **TIA Portal v16**, ve kterém bylo možné vytvořit všechny řídící programy PLC, a následně software **S7-PLCSIM Advanced V3.0 Upd2**, určený k virtuálnímu spuštění naprogramovaného PLC. Díky tomu bylo možné nahrát off-line PLC program do virtuálního stroje a testovat funkčnost řídícího systému přímo skrze reakční animace v PS.

Na vývojovém diagramu je znázorněna žádaná logika fungování robotického pracoviště. Program je tvořen základní inicializací, kdy musí být splněny určité podmínky, než-li bude možné spustit automatický mód chodu pracoviště. Automatický chod je poté rozdělen na dva podprogramy. První zajišťuje logiku operátora, tzn. upínaní polotovaru, rotace stolu atd. Druhý poté vytváří logiku toho, kdy může dojít ke spuštění robotické operace a jak bude sekvenčně probíhat celý automatický cyklus robotu.



Obr. 86 - Vývojový diagram fungování pracoviště

7.1 PLC moduly

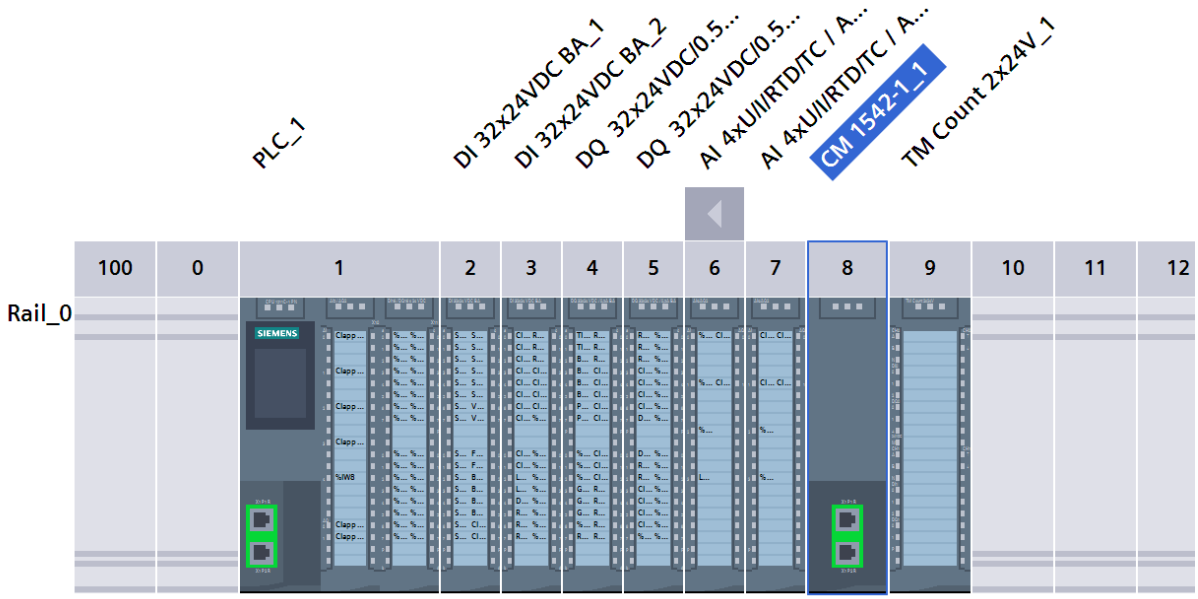
V prvním kroku bylo nutné vytvořit námi vybrané PLC v softwaru TIA a dodatečně nakonfigurovat potřebné moduly.

Vybrané PLC v původním stavu obsahovalo:

- Analogový modul (AI 5 / AO 2)
- Digitální modul (DI 16 / DQ 16)
- Profinet interface (Port 2x)

V konečném stavu bylo zapotřebí dalších modulů:

- Digitální vstupní modul DI 32 – 2x
- Digitální výstupní modul DO 32 – 2x
- Analogový modul (AI 4x / AO 2x) – 2x
- CM 1542-1
  - Komunikační modul pro Profinet (2 porty)
- TM Count 2x24V
  - Čítací modul pro vyhodnocování signálů inkrementálního enkodéru
  - dva kanály



Obr. 87 – Konfigurace PLC se všemi využitými moduly

7.2 Převod signálů do TIA Portálu

Po dokončení propojení mezi PLC a TIA portálem, a předpřipravením potřebných modulů k správnému fungování kontroléru, následovalo vytvoření globálních signálů PLC.

Aby bylo možné řídit signály v softwaru PS skrze signály v TIA, bylo nutné pojmenovat každý signál naprosto stejně. PS nabízí možnost exportování všech signálů do souboru .xlsx (Excelová tabulka), TIA ovšem takové rozložení tabulky nepodporuje. Z toho důvodu bylo nutné naprogramovat skript, který upraví tabulku dle požadavků TIA portálu, nebo všechny signály přepisovat ručně. K první variantě bylo využito programovací prostředí MATLAB.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Signal Name	Memory	Type	Robot Signal Name	Address	IEC Format	PLC Connect	External Connection	Resource	Comment
2	a_end	NEPRAVDA	BOOL		No Address	I	NEPRAVDA			
3	albany_RP300_1900x2300_R_Op_end_2	NEPRAVDA	BOOL		No Address	I	NEPRAVDA		albany_RP300_1900x2300_R	
4	albany_RP300_1900x2300_R_Op1_end_1	NEPRAVDA	BOOL		No Address	I	NEPRAVDA		albany_RP300_1900x2300_R	
5	b_end	NEPRAVDA	BOOL		No Address	I	NEPRAVDA			
6	Bez_dvere_B_CLOSE	NEPRAVDA	BOOL		No Address	Q	PRAVDA		ToolInstance	

Obr. 88 – Náhled původní struktury tabulky z PS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Name	Path	Data Type	Logical Address	Comment	Hmi Visible	Hmi Accessible	Hmi Writeable	Typeobject ID	Version ID
2	Bez_dvere_B_CLOSE		BOOL							
3	Bez_dvere_B_CLOSED		BOOL							
4	Bez_dvere_B_OPEN		BOOL							

Obr. 89 – Náhled výsledné tabulky

Prevod_prom_PS_na_TIA.m

```
1  clear; clc;
2  Polotovar= importdata ("PLCTags2.xlsx");        % polotovar kvuli prvnimu radku
3  Polotovar= Polotovar.PLCTags;
4  Vstup = importdata ("DP_9_3_2023_2.xlsx");      % Vstup
5  Vstup = Vstup.textdata;
6  Vstup_size= size (Vstup);
7
8  Vystup = cell (Vstup_size);
9  Vystup(1,:) = Polotovar(1,:);
10 Vystup(2:(Vstup_size(1)),1)=Vstup(2:(Vstup_size(1)),1);
11 Vystup(2:(Vstup_size(1)),3)=Vstup(2:(Vstup_size(1)),3);
12 Vystup_upraveny=Vystup;
13 VL=length(Vystup_upraveny);
14 writecell (Vystup,'Vystup.xlsx');
15 %
16 % V excelu jeste zmenit SHEET nazev na PLC Tags
17 % upravy
18 pattern= '_end';
19 pattern2= '_end_1';
20 pattern3= '_end_2';
21  for i= 0:(VL-2)
22     if contains(Vystup_upraveny(VL-i,1),pattern) == 1
23      Vystup_upraveny(VL-i,:) = [];
24     end
25     if contains(Vystup_upraveny(VL-i,1),pattern2) == 1
26      Vystup_upraveny(VL-i,:) = [];
27     end
28      if contains(Vystup_upraveny(VL-i,1),pattern3) == 1
29      Vystup_upraveny(VL-i,:) = [];
30     end
31  end
32  writecell (Vystup_upraveny,'Vystup_upraveny.xlsx');
```

Obr. 90 – Struktura podprogramu určeného k úpravě tabulky signálů z PS

Program (Obr. 90) nahraje polotovar správně formovaných vstupních dat do PLC (PLCTags2.xlsx) a hrubá data z PS (DP_9_3_2023_2.xlsx) a zjistí jejich velikost.

Následně skript vytvoří výstupní soubor (Vystup.xlsx), který má již žádané rozložení tabulky a je téměř připraven na import do TIA. Jelikož se ovšem v tabulace nachází i interní signály PS, končící **_end, _end_1, end_2**, které nemají žádné využití v TIA, program vyfiltruje tyto signály a vytvoří vyfiltrovaný výstupní soubor (Vystup_upraveny.xlsx).

Řádek	**Popis**
1-6	Import polotovaru pro TIA portal a signálů z PS
8-14	Vytvoření výstupní matice a umístění sloupců dle našich požadavků
18-20	Definování filtrovacího klíče (název signálu jej musí obsahovat)
21-31	Prohledávání výstupního souboru a eliminace nepotřebných signálů

	Program prohledává od posledního záznamu, aby nedošlo k přeskočení signálu po vyškrtnutí aktuálního
32	Výstupní soubor bez nežádaných signálů

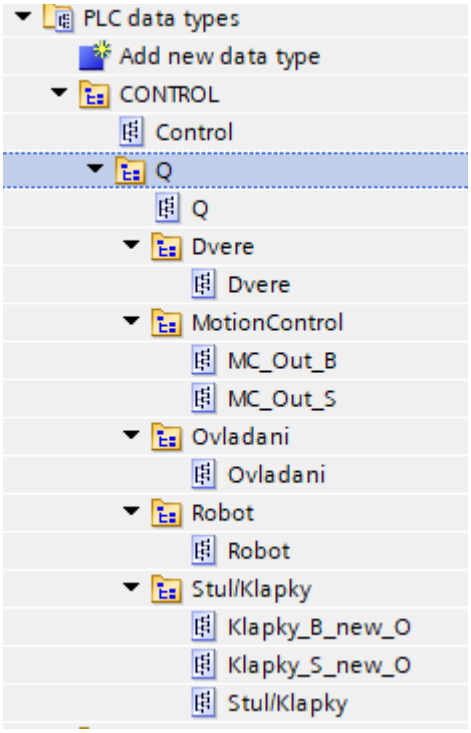
Tabulka 4 – Popis fungování podprogramu (obr.90)

Posledním krokem bylo otevřít výstupní soubor v programu Excel a změnit název listu na PLC_Tags. Poté bylo možné importovat tabulku signálů do TIA Portálu (PLC tags).

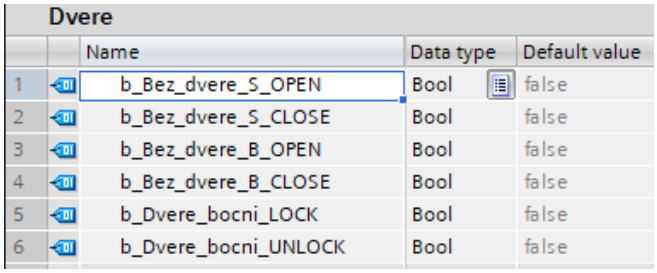
Po importování signálů následovalo jejich sekundární protřídění (ne všechny signály je nutné řídit z PLC, jelikož slouží pouze k vnitřní logice PS) a přiřazení I/O svorek.

7.3 Organizace signálů

Z pohledu simulace a přehlednosti signálové struktury je nevhodné využívat v programu I/O signály (PLC Tagy) přímo. Z toho důvodu byly vytvořeny nové interní signály v PLC Data types, které mají za úkol reprezentovat a ovládat importované PLC tagy. Z důvodu lepší přehlednosti je vhodné tyto nové signály rozdělit do podskupin (obr. 91).



a)



b)

Obr. 91 – a) Rozdělení signálů do kategorií, b) Náhled obsahu každé kategorie

Posledním krokem bylo vytvoření centrální kontrolní databáze **CONTROL_DATA**, jenž obsahuje přehledně všechny podložky Data types a další potřebné signály z programů PLC. Jedná se o přehlednou **Centrální databázi** (obr. 92) všech signálů této práce využívaných v PLC.

CONTROL_DATA

	Name	Data type	Start value	Re
1	Static			
2	CONTROL	"Control"		
3	Q	"Q"		
4	Dvere	"Dvere"		
5	Ovladani	"Ovladani"		
6	Robot	"Robot"		
7	Stul	"Stul/Klapky"		
8	Klapky_S_new	"Klapky_S_new_O"		
9	Klapky_B_new	"Klapky_B_new_O"		
10	MC_Out_B	"MC_Out_B"		
11	MC_Out_S	"MC_Out_S"		
12	SEN/FB	"Sensors/Feedback"		
13	I	"I"		
14	Dvere	"Dver"		
15	b_Bez_dvere_B_CLO...	Bool	false	
16	b_Bez_dvere_B_OPE...	Bool	false	
17	b_Bez_dvere_S_CLO...	Bool	false	
18	b_Bez_dvere_S_OPE...	Bool	false	
19	b_Dvere_bocni_ZAV...	Bool	false	
20	Stul_klapky_B_new	"Klapky_B_new"		
21	Stul_klapky_S_new	"Klapky_S_new"		
22	Robot	"Robt"		
23	Stul	"Stul"		
24	Up_prostor	"UpProstor"		
25	MC_IN_S	"MC_IN_S"		
26	MC_IN_B	"MC_IN_B"		

Obr. 92 – Centrální kontrolní databáze všech signálů v TIA

Aby bylo možné ovládat PLC tagy (signály) pomocí signálů z této databáze, bylo nutné vytvořit funkce, které propojí jejich hodnoty (logiku). Aby funkce fungovaly cyklicky, je nutné je volat v Main programu PLC.

Ukázky propisování hodnot mezi PLC tagy a CONTROL_DATA databází.

```
1  "CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.Dvere.b_Bez_dvere_B_CLOSED := "Bez_dvere_B_CLOSED";
2  "CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.Dvere.b_Bez_dvere_B_OPENED := "Bez_dvere_B_OPENED";
3  "CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.Dvere.b_Bez_dvere_S_CLOSED := "Bez_dvere_S_CLOSED";
```

Obr. 93 – Funkce přiřazující hodnoty vstupních signálů

```
1  "Bez_dvere_S_OPEN" := "CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Dvere.b_Bez_dvere_S_OPEN;
2  "Bez_dvere_S_CLOSE" := "CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Dvere.b_Bez_dvere_S_CLOSE;
3  "Bez_dvere_B_OPEN" := "CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Dvere.b_Bez_dvere_B_OPEN;
```

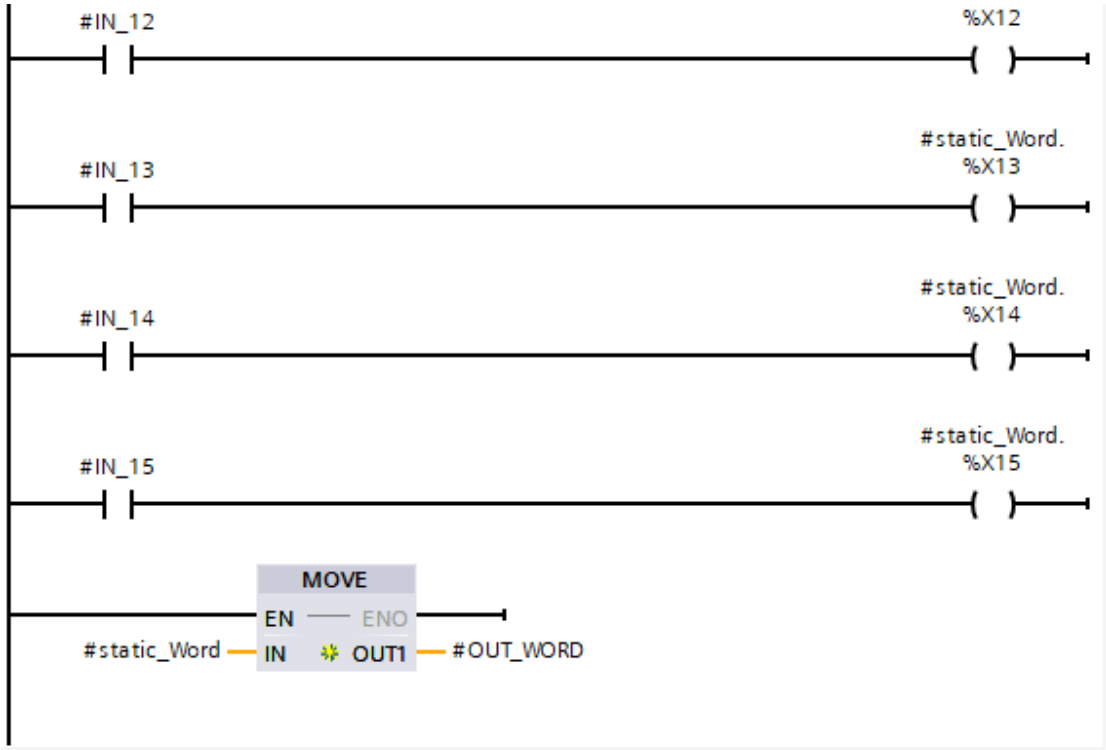
Obr. 94 - Funkce přiřazující hodnoty výstupních signálů

7.4 FB Převod proměnných

Stejně jako v případě Process Simulate, bylo nutné i v TIA provést konverzi proměnných z datového typu BOOL na WORD a opačně. Důvodem byla přesnější simulace reálného prostředí.

Jedná se o převod kontrolních bitů z PLC do datového typu WORD, který putuje do cílového ventilového bloku.

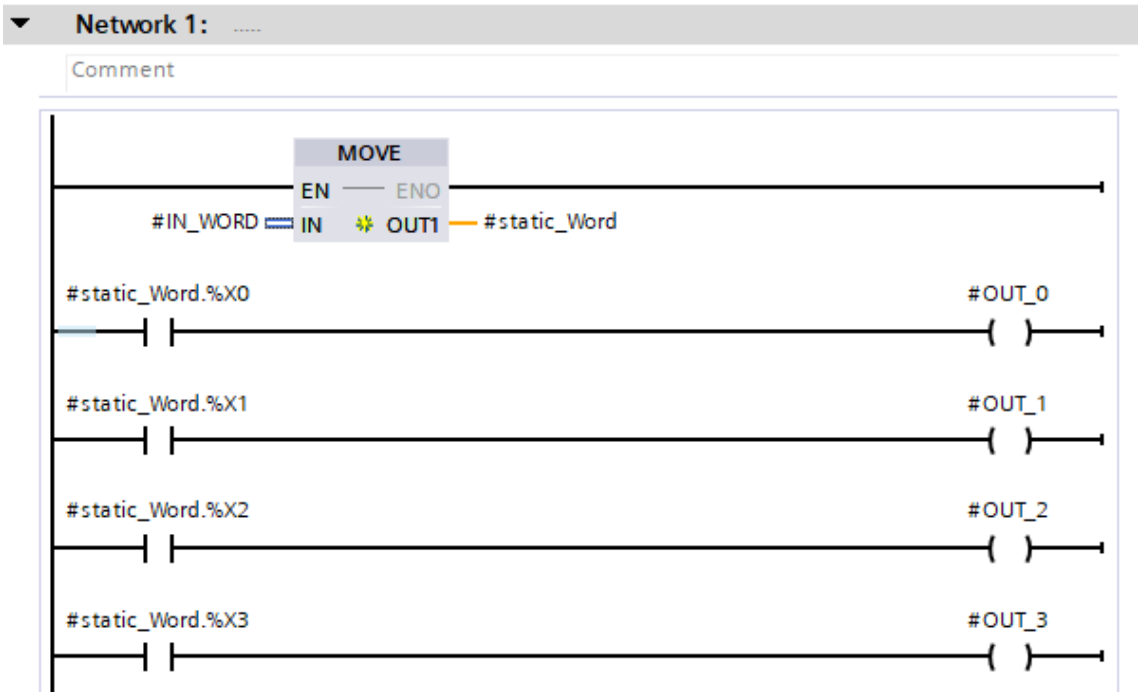
K převodu byl vytvořen funkční blok (FB) s programovacím jazykem Ladder Diagram. Struktura programu je velmi jednoduchá. Každý vstupní bit se zapíše do statického bitu datového typu WORD, a ten se v konečné podobě zapíše do výstupní proměnné. Důvodem jednoduchého programu bez využití datových typů Array (Matic) byla přehlednost proměnných a jejich relativně malý počet. Jedná se o proměnné typu OPEN/CLOSE.



Obr. 95 – Podprogram pro převod BITS → WORD

V opačném případě se jedná o převod vstupních analogových signálů z ventilového bloku na jednotlivé bity, reprezentující stavové proměnné jednotlivých předem určených signálů.

Znovu byl vytvořen FB v programovacím jazyku Ladder Logic, tak jako v předchozím případě, a logika je zrcadlově stejná. Jediným rozdílem je prvotní uložení vstupní proměnné do pomocné statické proměnné a následné přiřazení hodnoty každého jejího bitu do předpřipravených signálů řídícího PLC. Jedná se o stavové informace typu OPENED/CLOSED.



Obr. 96 - Podprogram pro převod WORD → BITS

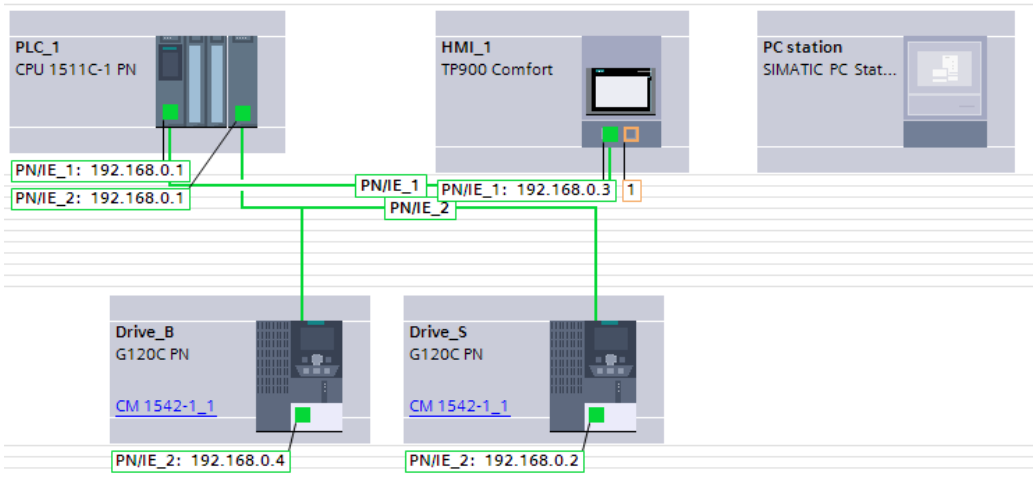
7.5 Řízení motorů rotačních stolů

K řízení elektromotorů poháněných rotační stoly byly využity frekvenční měniče G120. Jedná se o standardní měniče firmy SIEMENS. Za předpokladu, že vyžadujeme pouze měnit frekvence, by bylo možné využít pouze jeden hardware G120. V našem případě ovšem vyžadujeme přesné polohování skrze PID regulaci. Z toho důvodu je žádoucí zvolit dva měniče.

V softwaru TIA s přídavným rozšířením SINAMICS DRIVE V16 bylo možné tyto měniče virtuálně zprovoznit a přichystat k reálnému použití. Kromě připravení logiky je v posledních verzích možné virtuálně zprovoznit i samotné poháněné osy, což bylo využito k dosažení co nejvěrnější kopie reálného prostředí a fungování.

7.5.1 Frekvenční měniče

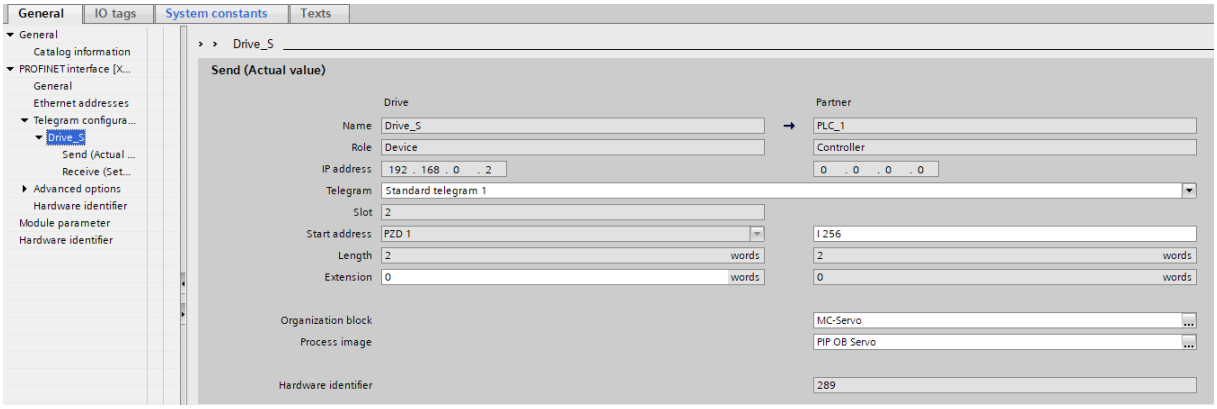
Prvním krokem bylo přidat frekvenční měniče do sítě, propojit je s nadřazenou řídící jednotkou PLC a přiřadit jim v síti novou IP adresu.



Obr. 97 – Síťová struktura elektrických prvků pracoviště, včetně IP adres

Dalším krokem bylo nastavení použitého komunikačního protokolu s PLC, v našem případě volíme variantu Standard telegram 1. Druhou variantou byl například Standard Telegram 352, který by nám udával i aktuální hodnoty proudu, ale v tomto způsobu nasazení není potřebný.

Na obrázku můžeme vidět nastavení telegramu, adresy vstupních i výstupních slov (CONTROL WORD a STATUS WORDS) a jejich počet.



Obr. 98 – Nastavení komunikačního protokolu mezi VFD a PLC

Konfigurace frekvenčních měničů proběhla **dle přílohy č. 1**.

V první kategorii bylo jako využití vybráno Dynamic Drive Control (Dynamická kontrola pohonu), protože máme v plánu přesné polohování.

Následně byl vybrán systém G120 jako výpočetní médium řízení pohonu, jelikož nechceme PLC zatěžovat dodatečným výpočetním výkonem.

Komunikace byla nastavena skrze fieldbus (v našem případě Standard telegram 1). Vstupní napětí do pohonu uvažuje standardních 400 V.

Dále byly definovány důležité parametry pohonu od výrobce SAW a motor byl opatřen brzdou. Další parametry typu rychlost rozběhu a limit napětí byly ponechány původní.

Všechny vybrané parametry je možné kdykoliv upravit či pozměnit.

S druhým G120 bylo postupováno stejně jako s prvním.

7.5.2 Technologické objekty / Technology objects

Po umístění měničů do sítě a prvotním definování jejich parametrů, bylo možné samotné pohony ovládat skrze přímé ovládání kontrolních slov (CONTROL WORDS), které jsou definovány dle Standard Telegram 1 dokumentace. Druhou variantou bylo vytvořit v PLC tzv. Technology Objects (technologické objekty), které nám slouží jako prostředník mezi G120 a přímým ovládáním skrze kontrolní slova. Po jejich vytvoření bylo následně možné využívat předdefinované, garantované a standardizované funkce k ovládání pohonů. Díky tomu bylo možné vytvořit jednoduchý a srozumitelný ovládací funkční blok pohonu.

Konfigurace TO probíhala dle **přílohy č. 2.**

V Basic Parameters byl nastaven rotační typ osy, využívané jednotky a zapnut režim **Virtuální Osy**. Při zapnutí této funkce dojde k imaginárnímu zprovoznění osy uvnitř PLC, kdy ovšem osa přestane komunikovat s enkodérem a měničem (nejsme je schopni virtuálně zprovoznit). Osa se poté chová stejně jako ta reálná, ale její řízení probíhá přímo v PLC. **Využití** virtuálních os je především ve virtuálním zprovoznění, ale také se využívá ke generování tzv.

setpoints (nastavených hodnot) pro více reálných os pracujících synchronně (obdrží hodnoty ve stejnou chvíli). Po vypnutí režimu virtuální osy je osa okamžitě schopna znovu komunikovat s enkodérem a měničem dle dalšího nastavení, a tím i reálně pracovat.

Dále nastavujeme cestu využitého frekvenčního měniče a zvolený komunikační telegram. Kromě měniče zde konfigurujeme i enkodér, a to využitý kanál modulu čítače PLC a komunikační telegram (ponecháváme Standard 83 pro enkodéry).

TO je poté možné hlouběji konfigurovat v kategorii Extended parameters. Pokud bychom chtěli detailněji řešit bezpečnost, je možné nastavení kdykoli upravit. V našem případě postačuje standardní nastavení.

7.5.3 Motion Control

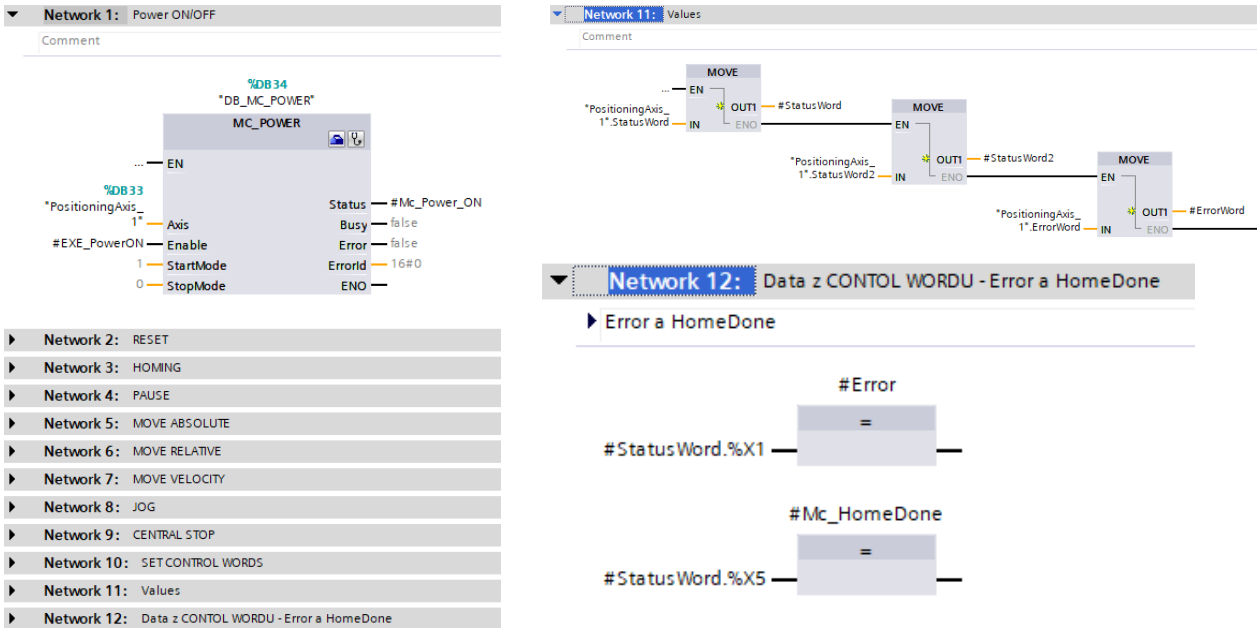
Jakmile byly vytvořeny TO, dalším krokem bylo vytvořit požadované funkční bloky, obsahující všechny ovládací funkce pohonů (virtuálních os).

Funkční blok byl vytvořen v programovacím jazyku Function Block Diagram. Program je rozdělen do dvanácti větví (Networks), kde prvních deset (obr. 99 a) obsahuje vždy jeden z hlavních předpřipravených bloků k ovládání pohonu (např. Power, MoveRelative atd.).

Větev č. 11 (obr. 99 b) obsahuje sadu MOVE instrukcí, které mají za úkol konstantně zapisovat aktuální hodnoty vstupních proměnných do lokálních statických proměnných. Díky tomu je možné sledovat stav všech jednotlivých signálů a chování funkčního bloku.

Poslední větev č. 12 (obr. 99 c) pracuje na podobném principu jako předchozí, ale slouží k vypsání hodnot jednotlivých bitů ze stavových slov (Status Word), konkrétně Error a Mc_HomeDone.

Celkový ovládací blok je jednoduchý, přehledný a lehce upravitelný. Sledovatelných signálů je mnohem více, něž které jsou vytvořeny ve větvi 12 a 13.



a) *b) – Nahoře* *c) Dole*

Obr. 99 – a) Struktura řídícího programu, b) + c) čtení kontrolních hodnot

Posledním krokem bylo zprovoznit vytvořený ovládací blok cyklickým voláním v hlavním programu PLC – Main. K ovládání byly využity námi předpřipravené proměnné z hlavní databáze CONTROL_DATA.

```
"DB_MotionControll"(EXE_Homing:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_Homing,
                    EXE_PowerON:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_PowerON,
                    EXE_Reset:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_Reset,
                    Mc_NewHomePos:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.r_Mc_NewHomePos,
                    EXE_MoveAbsolute:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_MoveAbsolute,
                    EXE_MoveRelative:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_MoveRelative,
                    Mc_MoveAbs_ToPosition:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.r_Mc_MoveAbs_ToPosition,
                    Mc_MoveRel_Distance:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.r_Mc_MoveRel_Distance,
                    Mc_Move_Velocity:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.r_Mc_Move_Velocity,
                    Mc_Reverse:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.n_Mc_Reverse,
                    EXE_Stop:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_Stop,
                    EXE_Pause:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_Pause,
                    Mc_Move_Done=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_Move_Done,
                    Mc_Home_Bussy=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_Home_Bussy,
                    Mc_Power_ON=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_Power_ON,
                    Mc_HomeDone=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_HomeDone,
                    ActualSpeed=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_ActualSpeed,
                    ActualVelocity=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_ActualVelocity,
                    ActualPosition=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_ActualPosition,
                    StatusWord=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_StatusWord,
                    StatusWord2=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_StatusWord2,
                    ErrorWord=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_ErrorWord,
                    Error=>"CONTROL_DATA"."SEN/FB".I.MC_IN_S.Mc_Error);          //MC - Pohon Stolu SACHTA
```

Obr. 100 – Volání řídícího programu pohonů v MAIN

7.6 FB Operátor

Logika automatického ovládání pracoviště, znázorněná v navrženém logickém diagramu (obr. 86), je tvořena dvěma hlavními podprogramy. První z nich má na starosti zajišťovat logiku pracoviště z pohledu obsluhy. To znamená, že při zmáčknutí aretačního tlačítka dojde k otevření bezpečnostních dveří, upínacích prvků, a po odmáčknutí ke spuštění upínacích klapek, bezpečnostních dveří a otočení stolu.

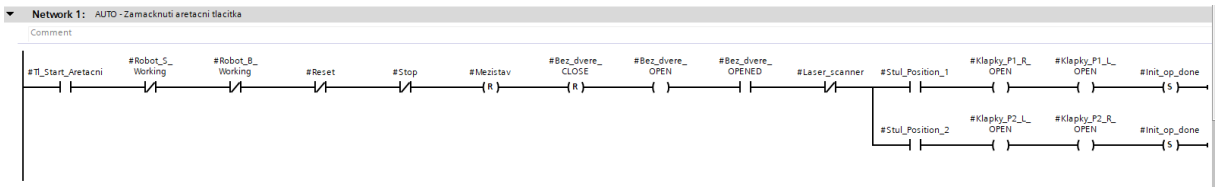
Příkaz k rotaci stolu je poté vyveden do dalšího podprogramu, který zadá hodnotu polohy MoveAbsolute a spustí operaci (kap. 7.5). V reálném nasazení by bylo nutné provést přepočet požadovaných otáček k docílení žádané polohy v závislosti na typu využívaného převodu.

7.6.1 Šachta

Logika operátorů obsluhy je u polotovarů typu šachta a blatník lehce rozdílná. Prvním rozdílem je umístění dvou polotovarů místo jednoho. Dalším rozdílem jsou upínací prvky stolu, které se mohou nacházet ve třech pozicích (OPENED/CLOSED/WORK) místo obvyklých dvou (OPENED/CLOSED). Z toho důvodu bylo nutné program upravit.

Řídící program byl vytvořen primárně v programovacím jazyku LD, ale některé ze sítí byly tvořeny ve Strukturovaném textu. Kód je rozdělen celkem do sedmi větví, z toho čtyři v LD a tři v SCL.

V první síti se čeká na stlačení hlavního aretačního tlačítka. Po jeho aktivaci dojde ke kontrole základních bezpečnostních prvků.



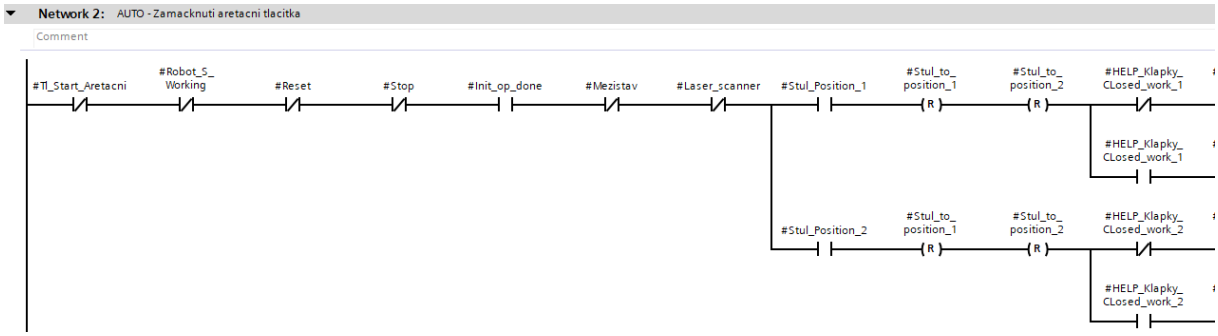
Obr. 101 – Program logiky operátora – první síť

Základní podmínkou je, že **roboti nesmí pracovat**. Bez této podmínky by mohlo při otevření bezpečnostních dveří dojít nedbalostí obsluhy k vychýlení rotačního stolu z pozice a tím ke špatnému svaření bodů. Podmínka může být hlouběji zpracována, a Robot_B může pracovat pouze na operacích polotovarů blatník na druhém stolu. V tom případě by se podmínka změnila na porovnání čísla aktuálně prováděné operace, která by se nesměla rovnat číslu prováděných operací při procesu sváření šachet. Tím by se zvýšil výrobní takt. S ohledem na bezpečnost a stabilitu byla zvolena první, ortodoxnější varianta.

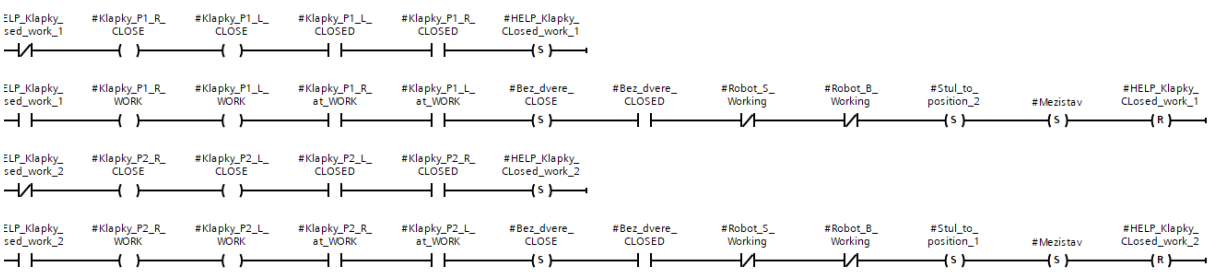
Dále nesmí být stisknuté fyzické bezpečnostní tlačítko **Stop** nebo tlačítko **Reset** na HMI. Stop tlačítko má za úkol zastavit všechny procesy, tlačítko Reset navíc spustí robotické operace pro návrat do HOME pozice.

Následně dojde k resetování hodnot signálu **Mezistav** (pomocný signál ve stavu NC k zajištění, že při prvotním zapnutí režimu AUTO nemůže dojít k aktivaci druhé sítě, jež má na starosti rotaci stolu).

Posledním krokem první části je restartování signálu k **zavření dveří** (pojistka) a sepnutí signálu k **otevření dveří**. Po otevření dojde dle aktuální pozice stolu k otevření požadovaných upínacích prvků za předpokladu, že **laserový skener** nedetekuje obsluhu uvnitř pracovního prostoru. Jedná se o bezpečnostní prvek, zajišťující bezpečnost obsluhy, který ovšem obsluze umožňuje alespoň opticky zkontrolovat proces otevírání upínacích prvků. Při jejich mechanickém poškození by obsluha díky tomu byla schopna upozornit na chybu, kterou by jinak nebylo možné bez dalších dodatečných senzorických prvků odhalit. Po provedení je sepnut signál o provedení inicializační operace (další bezpečnostní prvek spolu s Mezistav).



Obr. 102 - Program logiky operátora – druhá síť – první část



Obr. 103 - Program logiky operátora – druhá síť – druhá část

V druhé síti (obr. 102-103) se nachází program ovládající automatický chod rotačního stolu.

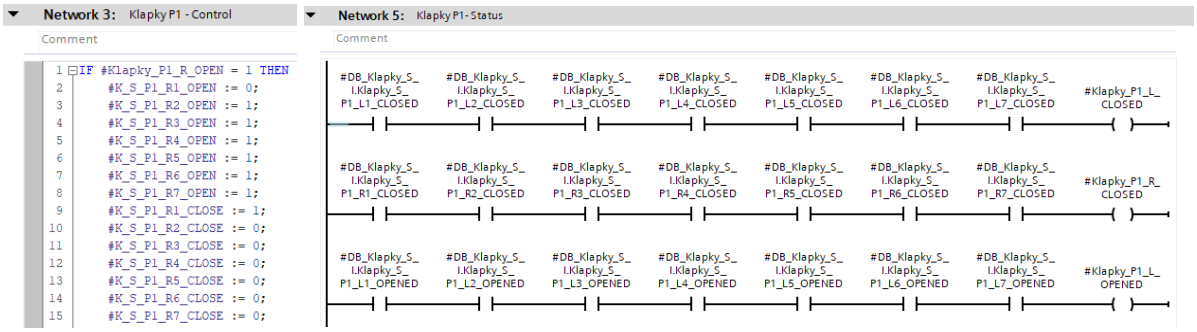
Při odaretování spouštěcího tlačítka zde znovu dojde ke kontrole, zdali robot nepracuje, jestli nebyly stisknuty Stop a Reset tlačítka a jestli se obsluha nenachází uvnitř prostoru (Laser_scanner). Přibyly zde bezpečnostní signály o provedení inicializační operace a Mezistav musí být roven 0.

Následně se program rozděluje do dvou větví dle aktuální pozice stolu. Nejdříve dojde k resetování povelových signálů k rotaci stolu, poté kód narazí na další rozcestník, začínající pomocným signálem s názvem HELP_***. Pokud je pomocný signál False, dojde k sepnutí povelových signálů upínacích prvků „přejít do stavu zavřeno“ (KLAPKY_CLOSE). Po dokončení se sepne pomocný signál HELP do True, program přepne do druhé cesty, kde vyšle příkaz upínacím prvkům „přejít do stavu WORK“ (KLAPKY_WORK). Po dokončení následně vyšle signál k zavření bezpečnostních dveří.

Posledním krokem je znovu kontrola, že roboty nepracují, a následný příkaz k rotaci do druhé pozice a resetování pomocných signálů HELP a Mezistav. Tím je cyklus dokončen. Jakmile robot začne pracovat na daném svářecím cyklu (blatník nebo šachta), informace je obsluze znázorněna na HMI panelu. Po dokončení obsluha může znovu stisknout tlačítko k otevření bezpečnostních dveří a vyjmutí/založení polotovarů.

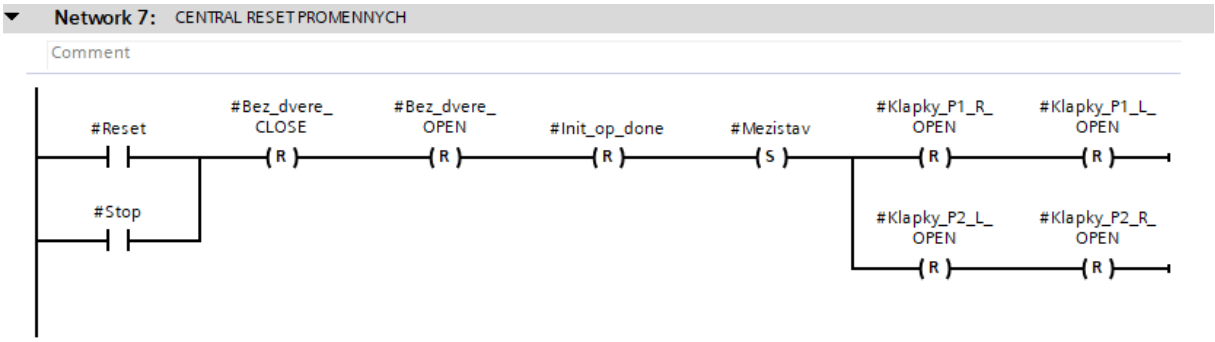
Větve číslo 3 a 4 (obr. 104) zajišťují definici pozic upínacích prvků v jazyku SCL. Každá struktura IF přehledně přiřazuje řídící hodnotu každému z upínacích prvků.

Větve číslo 5 a 6 (obr. 104) zajišťují zpětnou vazbu o dosažení pozice upínacích prvků v jazyku LD. Každý řetězec přiřazuje určité kombinaci přehlednou centrální proměnnou.



Obr. 104 - Program logiky operátora – síť 3-6

Poslední síť zajišťuje jednoduché zastavení prvních řídících větví a reset proměnných při zmáčknutí Stop tlačítka nebo Resetu.

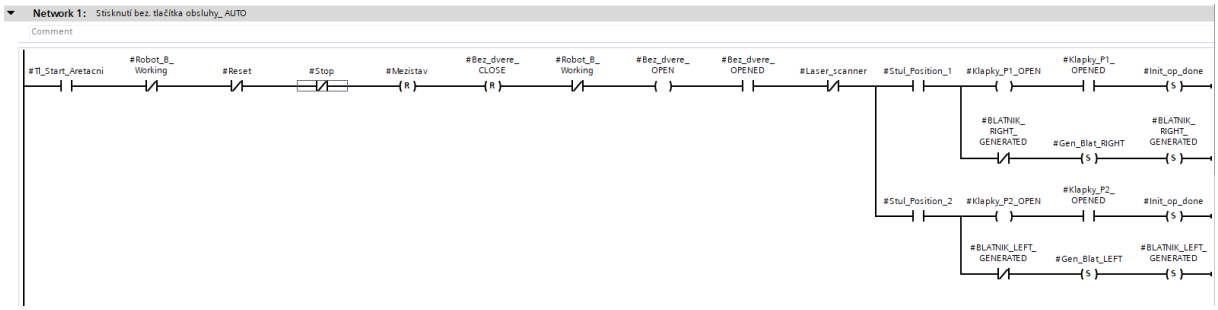


Obr. 105 - Program logiky operátora – poslední síť

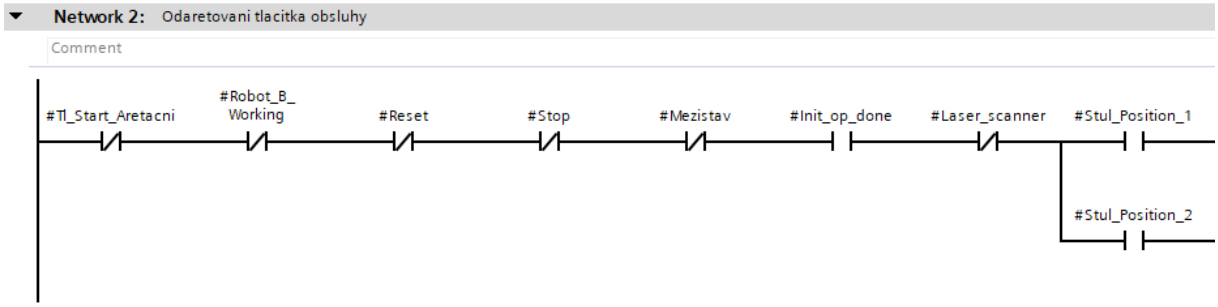
7.6.2 Blatník

Program pro polotovary typu blatník je téměř stejný jako pro šachtu. Prvním rozdílem je obohacení první sítě o generování vizuálního modelu blatníku. Důvodem, proč jen pro jednu větev, je přetrvávající chyba animace v PS, způsobující padání programu. V reálném nasazení by v byla větev generující polotovary odstraněna.

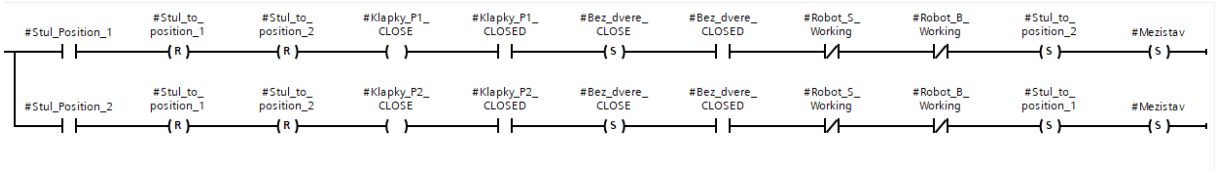
Dalším rozdílem je zjednodušení programu. U polotovarů typu blatník využíváme pouze dvě pozice (OPENED/CLOSED). Program tedy vypustil části o pozici WORK, jelikož je zde totožná s CLOSED. Byla zde možnost ponechat původní verzi a pouze definovat pozici WORK jako rovnou CLOSED, ale s ohledem na přehlednost byl vytvořen druhý program.



Obr. 106 - Program logiky operátora polotovaru blatník – první síť

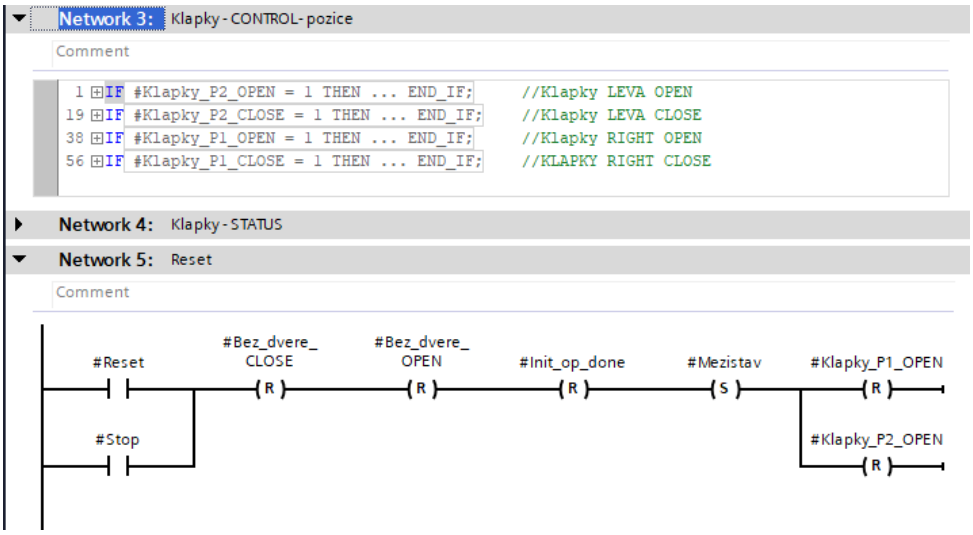


Obr. 107 - Program logiky operátora polotovaru blatník – druhá síť – první část



Obr. 108 - Program logiky operátora polotovaru blatník – druhá síť – druhá část

Původní sítě 3 – 4 a 5 – 6 zde bylo vhodné sjednotit pouze do dvou, jelikož upínáme jen jeden polotovar v každé poloze a řešíme pouze dvě pozice. Struktura sítí je jinak naprosto totožná, jako u typu šachta.



Obr. 109 - Program logiky operátora polotovaru blatník

7.7 FB Roboty

Druhým nejdůležitějším programem je logika robotických operací. Ta má za úkol zajistit, aby po každém otočení rotačního stolu došlo nejdříve k vyhodnocení hodnot vstupních parametrů, a pokud jsou v pořádku, tak k následnému spuštění sekvence robotických operací.

Program je tvořen primárně v programovacím jazyku Ladder Diagram (LD) a jedna síť ve Strukturovaném textu (SCL).

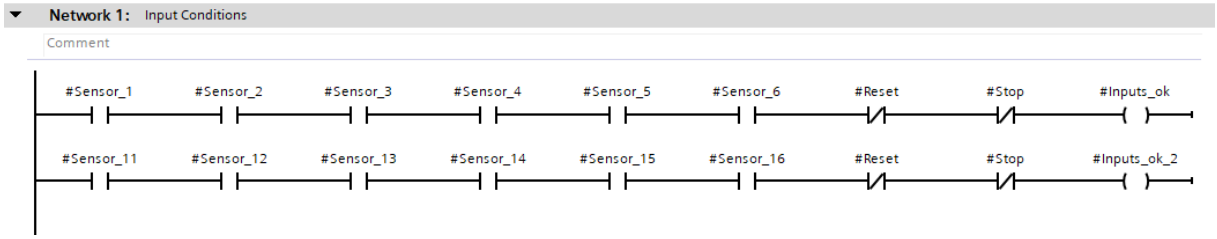
Podobně jako u programu logiky operátora jsou i zde menší rozdíly mezi řízením procesu polotovaru šachty a blatníku. Největším rozdílem je, že na svařování polotovarů šachet pracují oba roboty, kde první (Robot_S) z nich svaří nejdříve všech 14 bodů jedné šachty a následně 5 bodů šachty druhé. Zbylých 9 bodů svaří druhý robot (Robot_B). Robotický program je jinak velmi podobný.

7.7.1 Šachta

Program je tvořen celkem z jedenácti sítí, z toho deset v LD a jedna v SCL.

První síť (obr. 110) má na starosti kontrolovat vstupní podmínky, které musí být splněny. V opačném případě dojde k přerušení chodu všech dalších sítí. Jedná se o signály z **indukčních senzorů**, které detekují upnutý polotovar na rotačním stole. Pokud nejsou všechny senzory v TRUE (tři pro každý polotovar), polotovar je špatně upnut, nebo došlo k poškození jednoho ze senzorů. Kromě senzorů zde nalezneme požadavek na nesepnuté bezpečností tlačítka Reset a Stop (při jejich sepnutí dojde k přerušení vstupních podmínek, a tím i zastavení dalších sítí). Po splnění všech podmínek dojde k sepnutí lokální pomocné proměnné Inputs_ok a Inputs_ok_2 (druhá poloha).

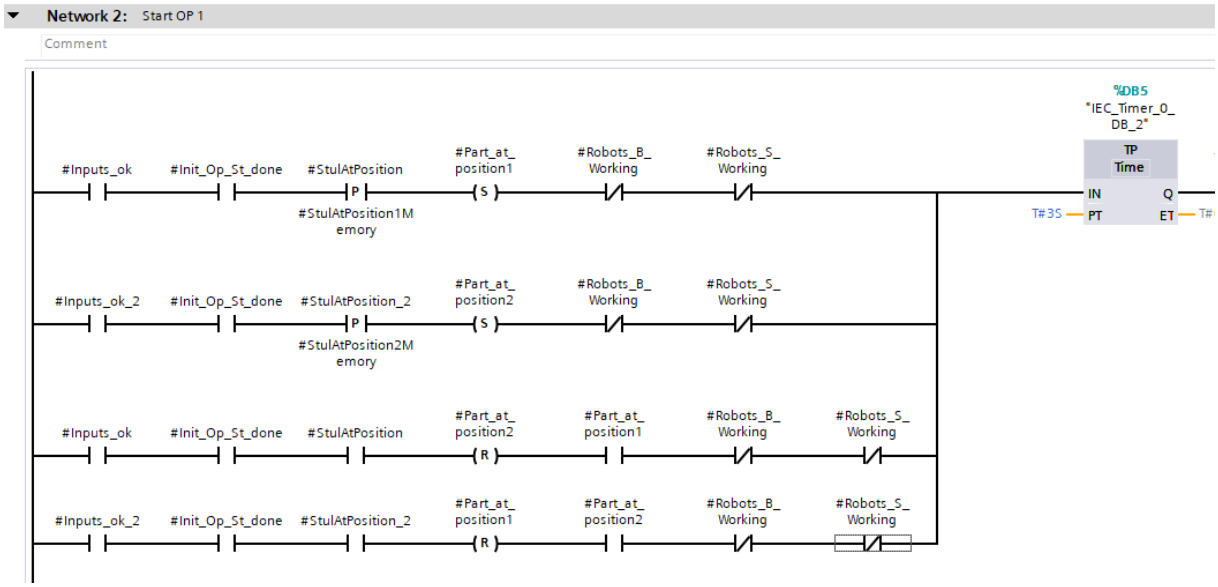
V automatickém programu uvažujeme vždy nutnost upnout oba polotovary v každé pozici, jinak nedojde ke splnění vstupních požadavků. Důvodem je struktura robotického programu, který je vytvořen pro sváření obou dílů najednou. Druhou variantou by bylo rozdělit program na svářecí operace jednoho polotovaru a druhého polotovaru. V tomto případě uvažujeme nepřetržitý provoz s dostatkem polotovarů, a proto není nutné program rozdělovat.



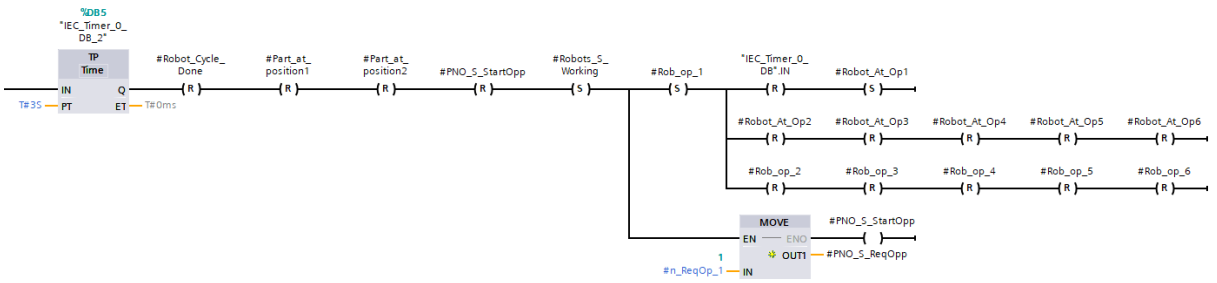
Obr. 110 - Program logiky robotu polotovaru šachta – první síť

V další síti (obr. 111) se dostáváme ke spuštění první operace automatického cyklu svařování šachet. Jakmile jsou splněny vstupní podmínky, program čeká na pozitivní hranu signálu o dojetí stolu na žádanou pozici, zapíše tuto hodnotu do dočasné proměnné (Part_at_position), a pokud roboty nepracují, pokračuje program dále. Pokud roboty pracují, program přejde do dalšího řádku, kde čeká na uvolnění robotů a následně spustí žádaný proces.

Dodatečná podmínka Init_Op_St_done zajišťuje, aby se cyklus nespustil při zapomenutém polotovaru upnutém na rotačním stole. A vyžaduje, aby první cyklus započal po fyzickém zmáčknutí a domáčknutí aretačního tlačítka obsluhy, zmíněného výše v programu FB_Operátor.



Obr. 111 - Program logiky robotu polotovaru šachta – druhá síť – první část



Obr. 112 - Program logiky robotu polotovaru šachta – druhá síť – druhá část

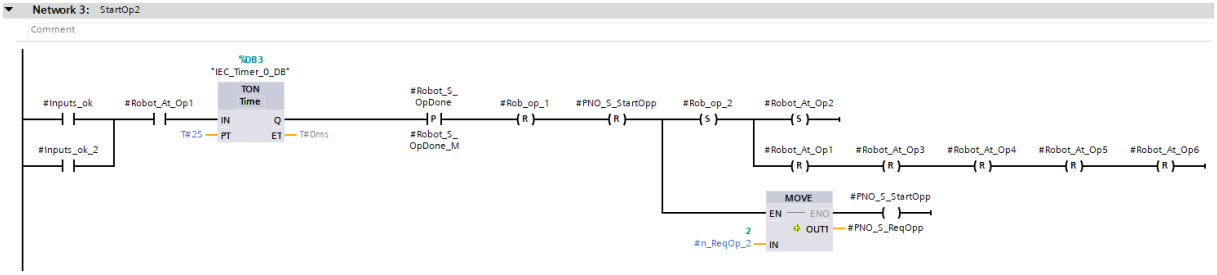
Program poté pokračuje do pomocného časovače, který po sepnutí přejde za 3 sekundy do stavu FALSE. Jde o dodatečný bezpečnostní prvek programu. Poté dojde k resetu pomocných a informačních signálů.

V posledním kroku dojde k sepnutí signálů do stavu "Robot_S pracuje“ (Robot_Working), Robot_At_Op1, a samotnému spuštění operace. V našem případě animace v PS reaguje na signál z Rob_op_1, ale v reálném nasazení by byl využit signál ReqOp (= číslo žádané operace) a StartOp (start operace). Z toho důvodu je program nachystán na obě varianty. Nakonec dojde k resetu zbývajících pomocných proměnných a spouštěcích signálů, aby byl zajištěn správný chod pracoviště.

Jelikož došlo k sepnutí signálu do Robot_Working, první síť přestane být funkční a přecházíme k síti číslo dvě. Časovač navíc funguje jako sekundární pojistka a zajišťuje přerušení napájení druhé částí, a tím i permanentní sepnutí první robotické operace.

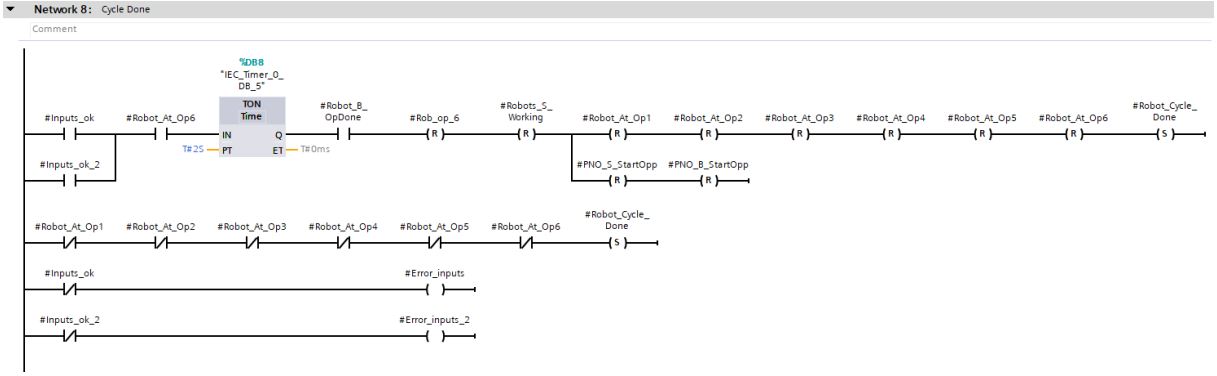
Druhá síť je již značně jednodušší. Pokud robot provádí operaci č. 1, dojde za dvě vteřiny k sepnutí výstupu časovače a program čeká na signál o dokončení operace. Při jejím dokončení dojde k sepnutí robotické operace č. 2 obdobně jako u první sítě.

Signál o dokončení operace by byl v reálném nasazení takto obdržen z řídícího kontroléru robotu KUKA. V simulaci byl využit signál o najetí robotu do HOME pozice, jelikož do této pozice najíždí vždy a pouze po dokončení operace. Všechny další starty operací jsou řešeny obdobně a aby nedošlo k přeskočení jedné z nich, je v programu umístěn zmíněný TON. Ten zajistí, aby program detekoval pozitivní hranu najetí do HOME pozice až po uplynutí dvou sekund (náskok k rozjetí operace).



Obr. 113 - Program logiky robotu polotovaru šachta – třetí síť

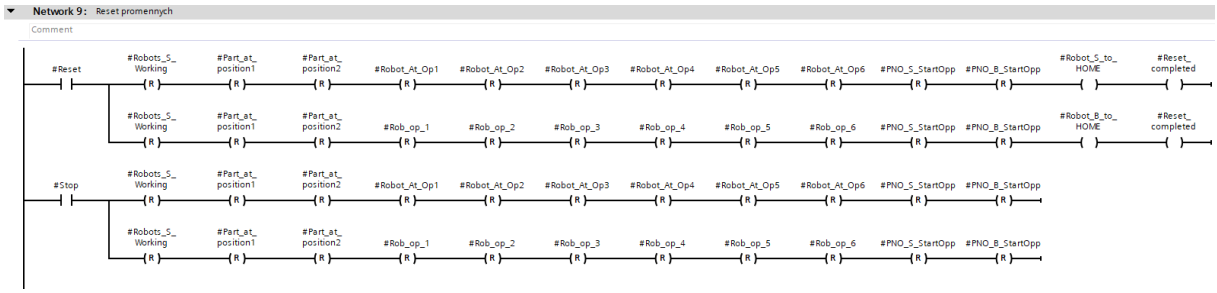
Sítě 4 – 7 vypadají totožně jako síť 3. Poslední krok cyklu je znázorněn v síti č. 8. Po dokončení poslední operace dojde k resetování všech pomocných proměnných a k sepnutí signálu o dokončení cyklu **Robot_cycle_Done**. Pokud není žádná operace v chodu, je tento pomocný signál také sepnut. Dále zde dochází k sepnutí signálu o chybě ve vstupech do cyklu **(Error_inputs).**



Obr. 114 - Program logiky robotu polotovaru šachta – osmá síť

Síť 9 má na starosti reset všech proměnných na základě bezpečnostních tlačítek **Start** a **Stop**. Při zmáčknutí tlačítka Reset navíc dojde k robotickým operacím, kdy roboty najedou do své HOME pozice. Při stisku bezpečnostních tlačítek v reálném provozu by bylo nutné projít

bočním vchodem a zkontrolovat pozici robotů, aby při následném resetu nedošlo k jakékoliv kolizi, a v případě potřeby roboty vyvézt z nebezpečné pozice za použití kontroléru.

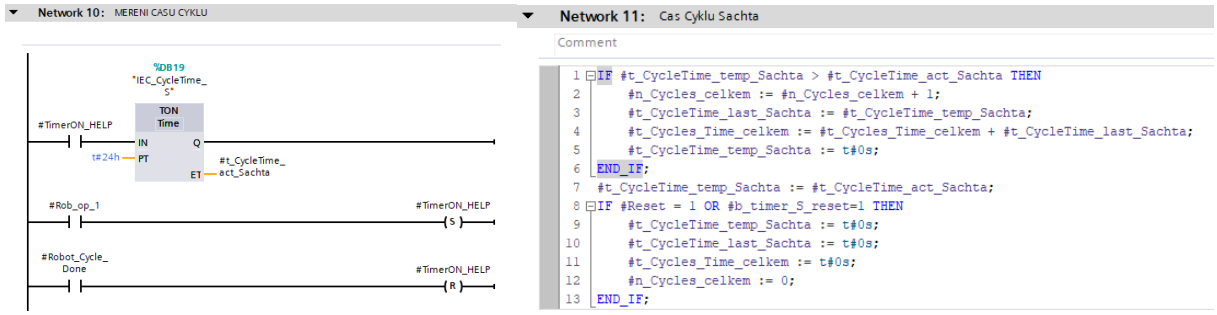


Obr. 115 - Program logiky robotu polotovaru šachta – devátá síť

Poslední dvě sítě (obr. 116) mají na starosti spínání časovače, který měří počet provedených cyklů, celkový čas cyklů, poslední čas cyklu a aktuální čas cyklu. Síť 10 zajišťuje sepnutí časovače při startu první robotické operace a resetu při dokončení operace.

Poslední síť byla vytvořena ve Strukturovaném jazyce z důvodu přehlednosti v této konkrétní aplikaci. První IF struktura posuzuje, zdali je dočasná lokální proměnná (t_CycleTime_temp_Sachta) větší než aktuální čas cyklu (uplynulý čas z časovače v síti 10). Pokud není, program pokračuje dál a dojde k zápisu aktuálního času do dočasné proměnné. Jakmile je dočasná proměnná větší než hodnota aktuálního času cyklu, cyklus se dokončí a resetuje se časovač. Tím dojde k zapsání nové celkové doby cyklů, jejich počtu a doby posledního cyklu.

Druhá IF struktura má na starosti vynulování uložených časových hodnot, pokud dojde k zmáčknutí centrálního Reset tlačítka, nebo pouze k lokálnímu b_timer_S_reset.



a) *b)*

Obr. 116 - Program logiky robotu pol. šachta a) zapnutí časovače b) uložení

7.7.2 Blatník

Ovládací program pro polotvary typu blatník je tvořen celkem z devíti sítí. Organizace všech sítí je naprosto totožná jako u polotovaru šachta.

První obsahuje vstupní požadavky. Sítě 2 – 5 zajišťují automatický chod cyklu robotických operací. Další dvě sítě mají na starost zakončení cyklu a chování při stisknutí tlačítka Stop a Reset (Reset zde již nevolá robotickou operaci HOME). Poslední dvě zajišťují zaznamenávání času.

Obr. 117 - Program logiky robotu polotovaru blatník

7.8 FB Inicializace

Aby bylo možné zapnout automatický režim fungování zadaného pracoviště, bylo nutné vytvořit bezpečnostní podprogram, který zamezí zapnutí cyklu, pokud nejsou splněny určité požadavky. Funkční blok je tvořen inicializační strukturou pro jednotlivé prvky pracoviště a dvěma podprogramy pro detailnější otestování stavu robotů.

Inicializace má na starosti zjištění aktuálních hodnot všech prvků a přivést je do připraveného stavu pro automatický režim (ReadyToAuto). Funkční blok byl vytvořen v programovacím jazyku SCL.

Řádky 1 – 200 (obr. 119) slouží k jednoduchému řízení klapek a jejich zpětné vazbě.

První podmínka (řádek 258) zkontroluje, zdali se roboty nachází v HOME pozici a nevykonávají žádnou operaci. Pokud je vše v pořádku, dojde k sepnutí signálu RobotsReady. V reálném nasazení by bylo možné provést hlubší rozbor, např. MotorsOnState, RunChainOk, AutoOn atd. Tato simulace je také možná při využití dodatečného softwaru KUKA.Sim, který ovšem není k dispozici.

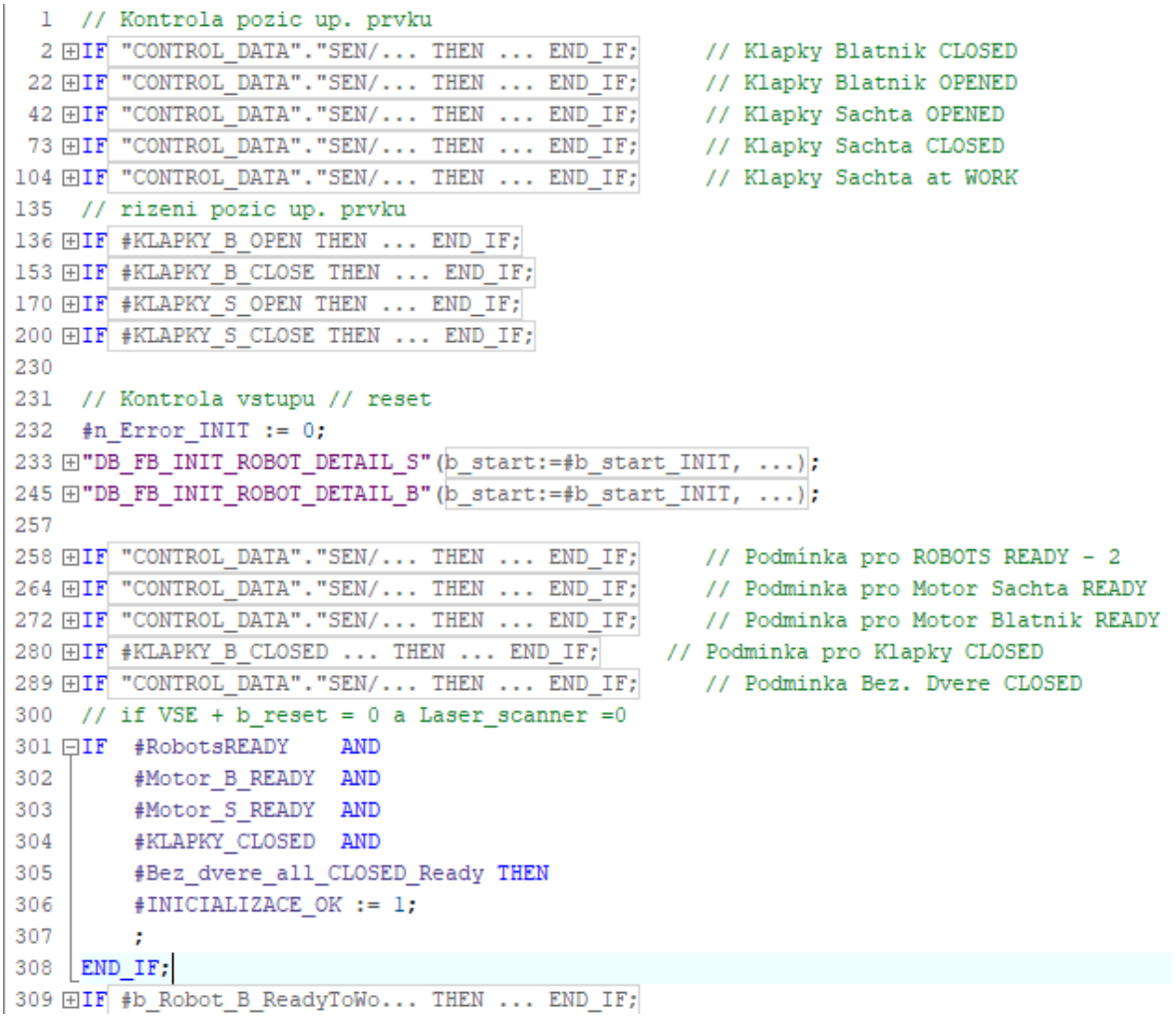
Další **dvě podmínky** (řádek 264-279) zkontrolují, zdali je zapnutý elektromotor a provedena operace homing (homování). Pokud ne, dojde ke spuštění obou příkazů. Po splnění podmínky se sepne signál Motor_Ready.

Čtvrtá podmínka (řádek 280) má za úkol zkontrolovat pozici upínacích zařízení rotačního stolu. Žádaný počáteční stav je CLOSE, pokud se v něm prvky nenachází, dojde k sepnutí povelových signálů.

Poslední podmínka (řádek 289) se týká bezpečnostních dveří. Oba hlavní vchody a jeden vedlejší musí být zavřeny, jinak dojde k sepnutí signálu k jejich zavření.

Program navíc využívá pomocnou proměnnou n_Error_INIT, kde každý bit udává chybu, kvůli které nelze provést inicializaci. V případě, že je vše v pořádku, je hodnota rovna 0.

Pokud jsou splněny všechny základní podmínky, dojde k sepnutí pomocného signálu INICIALIZACE_OK.



Obr. 118 – Hlavní program inicializace

Podprogramy (řádek 233 a 245) slouží k detailnější inicializační simulaci robotů, zmíněných výše u první podmínky. Programy jsou vytvořeny ve strukturovaném jazyce a jejich struktura je tvořena primárně skrze struktury CASE s podmínkami IF. Viz **příloha č. 3**.

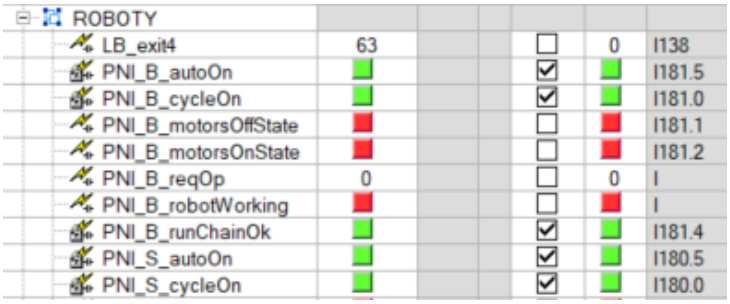
Řádek	Popis
1-8	Pozitivní hrana signálu Start dá příkaz ke spuštění pohonů a přepnutí do prvního stavu CASE struktury – STATE_OV_ERRORY.
10-19	STATE_OV_ERRORY Základní stav. Pokud proměnná n_Error = 0, kód přejde na další stav. Pokud ne, zapíše se číslo chyby do proměnné a program přejde do stavu STATE_ERROR.
21-28	STATE_OVERENI Kontrola RunChainOk. Pokud není splněno, přepne program do STATE_ERROR.
30-41	STATE_ERROR Pokud dojde k potvrzení chyby a stisknutí RESET tlačítka, dojde k resetu chybových informativních proměnných a program přejde znovu do prvního stavu.
44-51	STATE_INIT

	Kontrola AutoOn. Pokud není splněno, přepne program do STATE_ERROR.
54-74	STATE_MOTORS_ON Kontrola, jestli jsou zapnuty pohony. Pokud nejsou zapnuty, dojde k sepnutí signálu k jejich zapnutí. Pokud se pohony do dvou vteřin nenahodí, přecházíme do STATE_ERROR.
77-93	STATE_START_CYCLE Kontrola CycleOn. Pokud není splněno, přepne program do STATE_ERROR.
96-114	STATE_ROBOT_READY Pokud byly splněny všechny požadavky, dojde k sepnutí signálu b_RobotReadyToWork. Pokud ne, tak k přepnutí do STATE_ERROR. Pokud chceme inicializační proces provést znovu, je možné stisknout RESET tlačítko.

Tabulka 5 – Princip fungování programu (příloha č. 3)

Jelikož nebyl k dispozici reálný kontrolér, aby bylo možné provést simulovaný inicializační proces, bylo nutné v PS nuceně zapnout signály nutné k provedení programu. Výhodou byla možnost nanečisto odladit simulovaný program.

Pokud jsou splněny všechny základní podmínky a navíc podmínky o úspěšné inicializaci robotů, dojde k sepnutí pomocného signálu INIT_KOMPLET_OK.



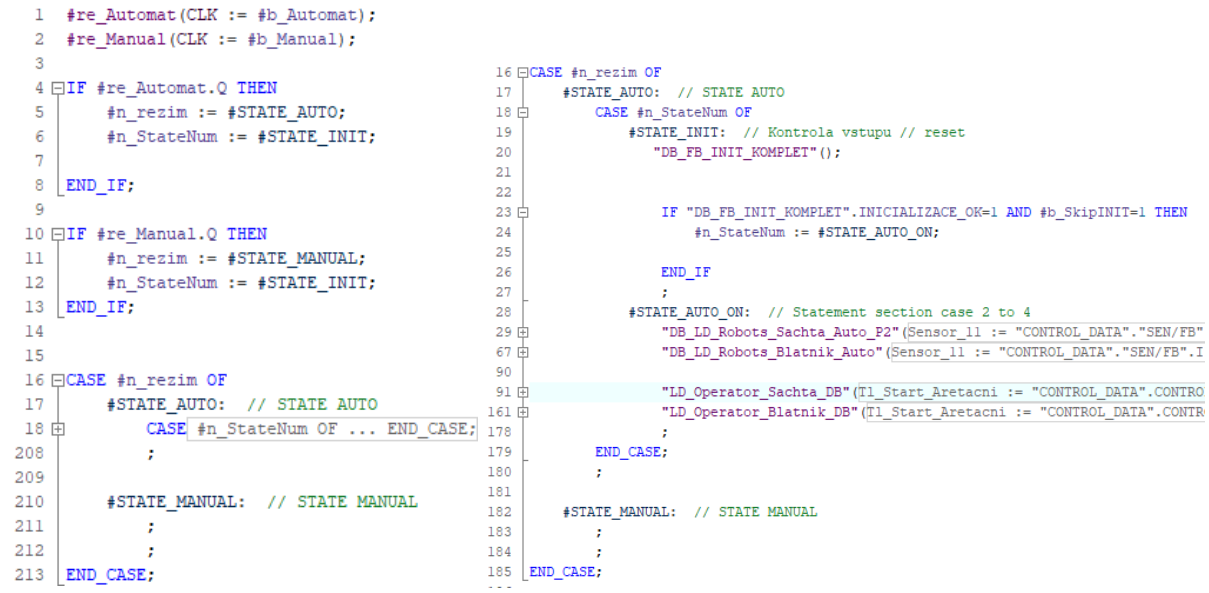
Obr. 119 – Simulace zpětné vazby robotů o jejich stavu

7.9 FB_CONTROL

Všechny vytvořené řídící programy popsané výše bylo následně možné využít k nadřazenému programu. K tomu byl vytvořen funkční blok FB_Control (obr. 120). Jedná se o program vytvořený ve Strukturovaném textu, jehož hlavním účelem je rozdělit řízení na dva režimy, MANUAL a AUTO. V režimu AUTO jsou poté volány řídící programy.

Řádky 4–13 jednoduše zařizují přepínání mezi hlavními režimy. Z bezpečnostních důvodů byly k přepínání využity kladné hrany booleovských signálů b_Automat a b_Manual, definované v prvních dvou řádcích programu.

Case struktura v řádcích **16–213** obsahuje jednoduché rozdělení na AUTO / MANUAL. Automat se poté ještě dělí na INICIALIZACE a AUTO_ON. Ve stavu AUTO_ON jsou poté volány řídící programy, popsané v předchozích kapitolách.



```
#re_Automat(CLK := #b_Automat);
#re_Manual(CLK := #b_Manual);

IF #re_Automat.Q THEN
    #n_rezim := #STATE_AUTO;
    #n_StateNum := #STATE_INIT;

END_IF;

IF #re_Manual.Q THEN
    #n_rezim := #STATE_MANUAL;
    #n_StateNum := #STATE_INIT;
END_IF;


CASE #n_rezim OF
    #STATE_AUTO:  // STATE AUTO
        CASE #n_StateNum OF ... END_CASE;
        ;

    #STATE_MANUAL:  // STATE MANUAL
        ;
        ;
END_CASE;
```

```
CASE #n_rezim OF
    #STATE_AUTO:  // STATE AUTO
        CASE #n_StateNum OF
            #STATE_INIT:  // Kontrola vstupu // reset
               "DB_FB_INIT_KOMPLET"();


               IF "DB_FB_INIT_KOMPLET".INICIALIZACE_OK=1 AND #b_SkipINIT=1 THEN
                   #n_StateNum := #STATE_AUTO_ON;

               END_IF
               ;
            #STATE_AUTO_ON:  // Statement section case 2 to 4
               "DB_LD_Robots_Sachta_Auto_P2"(Sensor_11 := "CONTROL_DATA"."SEN/FB"
               "DB_LD_Robots_Blatnik_Auto"(Sensor_11 := "CONTROL_DATA"."SEN/FB".I

               "LD_Operator_Sachta_DB"(T1_Start_Aretacni := "CONTROL_DATA".CONTRO
               "LD_Operator_Blatnik_DB"(T1_Start_Aretacni := "CONTROL_DATA".CONTR
               ;
        END_CASE;
        ;

    #STATE_MANUAL:  // STATE MANUAL
        ;
        ;
END_CASE;
```

a) *b)*

Obr. 120 – a) Hlavní program CONTROL, b) Detail na strukturu stavu AUTO

7.10 Main program PLC

Předpřipravené funkční bloky byly umístěny do programu MAIN. Zde dochází k jejich volání a realizaci.

První dva řádky slouží ke vzájemnému dosazení hodnot PLC tagů a řídících signálů z centrální databáze CONTROL_DATA. Řádky 4-185 pak vyvolávají převody signálů. Programy jsou popsány v kapitolách 7.2–7.4.

Následně je již volán centrální ovládací program (kap. 7.8) a nakonec řídící programy pohybových os (kap. 7.5).

```
"OUTPUT_VAR_ASSIGNEMENT"();
"INPUT_VAR_ASSIGNEMENT"();
// Klapky STATUS WORD - BOOL / PS - TIA / INPUTS
"DB_TIA_W_to_B_1"(IN_WORD:="Clappers_S_P1_status", ...);    //Klapky S Pozl L   - STATUS
"DB_TIA_W_to_B_2"(IN_WORD:="Clappers_S_P2_status", ...);    //Klapky S Poz2 L   - STATUS
"DB_TIA_W_to_B_3"(IN_WORD:="Clappers_B_P1_L_status", ...); //Klapky B Poz. LE  - STATUS
"DB_TIA_W_to_B_4"(IN_WORD:="Clappers_B_P2_R_status", ...); //Klapky B Poz. PR  - STATUS
"DB_TIA_W_to_B_5"(IN_WORD:="Clappers_S_P1_R_status", ...); //Klapky S Pozl R   - STATUS
"DB_TIA_W_to_B_6"(IN_WORD:="Clappers_S_P2_R_status", ...); //Klapky S Poz2 R   - STATUS


// Klapky control BOOL - WORD / TIA - PS / OUTPUTS
"DB_TIA_B_to_W_1"(IN_0:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Klapky_S_new.Klapky_S_P1_L1_CLOSE, ...);   //Klapky S Pozl L   - CONTROL
"DB_TIA_B_to_W_2"(IN_0:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Klapky_S_new.Klapky_S_P2_L1_CLOSE, ...);   //Klapky S Poz2 L   - CONTROL
"DB_TIA_B_to_W_3"(IN_0:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Klapky_B_new.Klapky_B_L_1_CLOSE, ...);     //Klapky B Pozl L   - CONTROL
"DB_TIA_B_to_W_4"(IN_0:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Klapky_B_new.Klapky_B_R_1_CLOSE, ...);     //Klapky B Pozl R   - CONTROL
"DB_TIA_B_to_W_5"(IN_0:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Klapky_S_new.Klapky_S_P1_R1_CLOSE, ...);   //Klapky S Pozl R   - CONTROL
"DB_TIA_B_to_W_6"(IN_0:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.Klapky_S_new.Klapky_S_P2_R1_CLOSE, ...);   //Klapky S Poz2 R   - CONTROL


"FB_CONTROL_DB"();  //hlavni program

"DB_MotionControl1"(EXE_Homing:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_S.b_EXE_Homing, ...);          //MC - Pohon Stolu SACHTA
"DB_MotionControl2"(EXE_Homing:="CONTROL_DATA".CONTROL.Q.MC_Out_B.b_EXE_Homing, ...);          //MC - Pohon Stolu BLATNIK
```

Obr. 121 – Struktura program MAIN

7.11 HMI

Posledním krokem virtuálního zprovoznění bylo vytvoření ovládacího HMI panelu, pomocí kterého by byla obsluha schopna ovládat celé pracoviště.

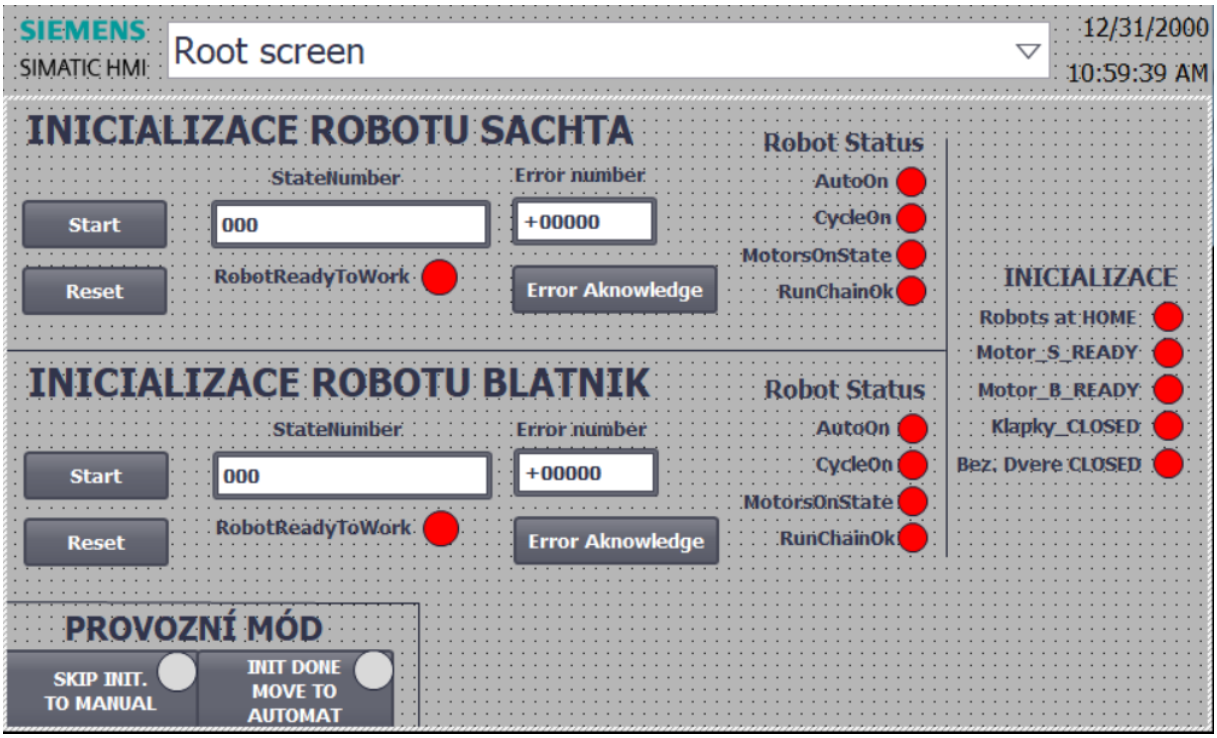
V práci bylo vytvořeno centrální ovládání celé buňky, které je možné jednoduše pozměnit a omezit funkce pouze na jednu část pracoviště, kterou právě operátor obsluhuje. Cílem bylo jednoduché, přehledné ovládání, které může fungovat ve dvou módech – MANUAL a AUTOMAT.

Úvodní obrazovka po načtení systému je tvořena pouze tlačítkem start, které po stisknutí přepne obrazovku na **inicializační** (obr. 122). Ta je určena k počátečnímu testu stavu robotů a dalších prvků pracoviště před tím, než bude možné přejít do automatického režimu.

Tlačítko start centrálně spustí inicializační podprogram obou robotů. Při chybě dojde k vypsání čísla chyby (Error number) a obsluha musí nejdříve stisknout tlačítko o potvrzení chyby a následně resetovat kontrolní podprogram. Fungování programu je popsáno v kap. 7.8.

Po splnění požadavků (Motors_On, Cycle_On, Auto_On, RunChainOk) dojde k sepnutí signálu Robot_ReadyToWork. Pokud jsou zároveň splněny další obecné požadavky pracoviště (Klapky_CLOSED, Robots_at_HOME, Motors_ON), dojde k zobrazení tlačítka přepínající obrazovku a stav na AUTO_ON.

Pokud by obsluha chtěla přeskočit inicializační část a přejít pouze do manuálního režimu, je možné stisknout tlačítko SKIP INIT TO MANUAL. Při opětovném pokusu přejít do automatického režimu znovu dojde k přepnutí na inicializační obrazovku, kde je nutné splnit všechny požadavky.



Obr. 122 – HMI – INICIALIZACE

7.11.1 Automat

První mód je využíván pro automatický chod pracoviště. Režim je tvořen pouze jednou obrazovkou, která má prioritně informovat obsluhu o stavu důležitých prvků pracoviště.

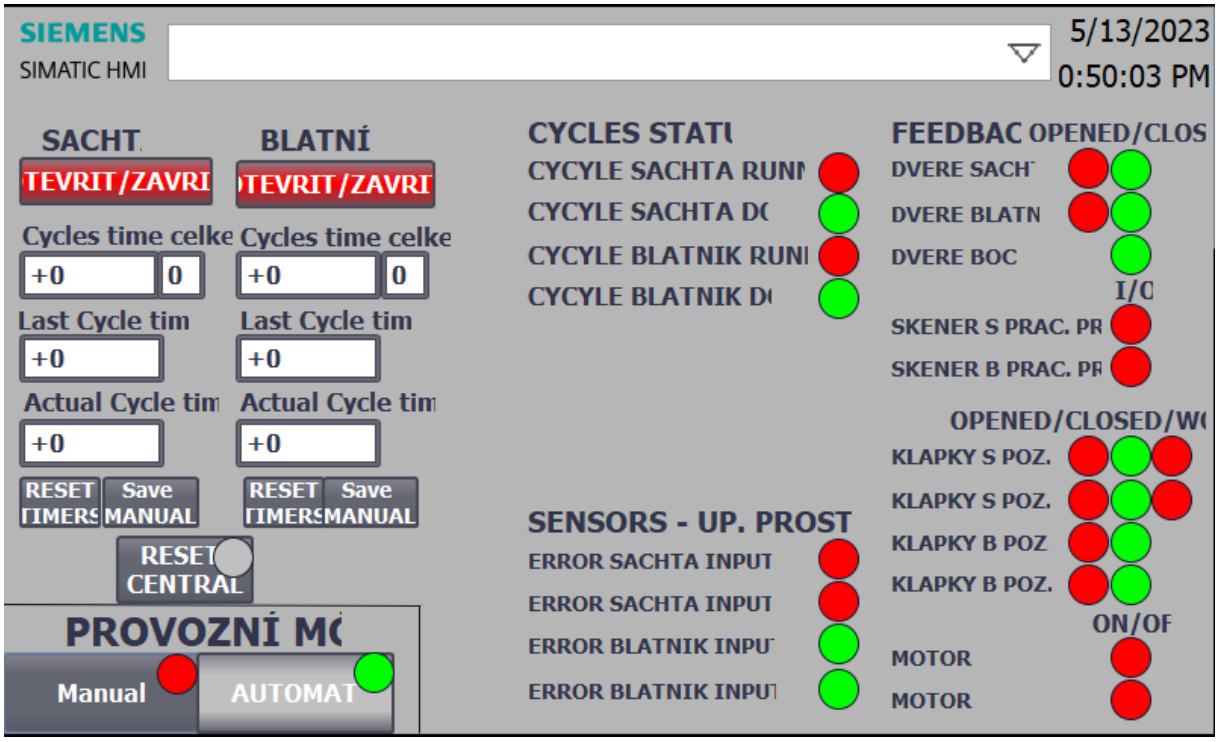
Na obr. 123 můžeme vidět rozložení obrazovky. Nejdůležitějším prvkem jsou tlačítka OTEVRIT/ZAVRIT. Jedná se o jediná tlačítka, která musí operátor obsluhovat. V reálném nasazení by tato tlačítka byla vyvedena do fyzického aretačního tlačítka spolu s bezpečnostním STOP tlačítkem.

Pravá strana obsahuje zpětnou vazbu důležitých signálů, například pozice upínacích prvků pracoviště, stav bezpečnostních dveří (OPEN/CLOSE) a samozřejmě i informační signály o tom, zda se provádí cyklus SACHTA, BLATNIK, nebo byla operace již dokončena. Signály v sekci SENSORS nám vyhodnocují, zdali je polotovar na pozici správně upevněn.

Na levé dolní straně je možné vidět hlavní tlačítka, přepínající režim robotického pracoviště. Při změně z režimu Automat na Manual dojde k zastavení všech probíhajících operací.

Na levé straně se poté nachází číselná pole, která ukazují aktuální čas cyklu, čas posledního cyklu, čas všech cyklů a počet provedených cyklů. Tyto informace jsou velmi užitečné k vizuální kontrole doby trvání cyklů. Pokud by došlo k výraznému časovému zpoždění mezi jednotlivými cykly, operátor by tak získal indikaci o problému na pracovišti.

Tlačítka umístěná pod číselnými poli slouží k resetu časových hodnot a manuálnímu uložení hodnot do souboru. Poslední RESET CENTRAL slouží k tvrdému restartu pracoviště, resetu všech proměnných do původních hodnot a roboty provedou pohyb do HOME pozice. Jedná se o tvrdý restart, kterému by obvykle předcházel tvrdý STOP skrze fyzické tlačítko.



Obr. 123 – HMI – Automat_ON

Při každé změně stavu aretačního tlačítka poté dochází k **uložení všech časových hodnot** a aktuálního reálného času do definovaného textového souboru. Díky těmto hodnotám jsme dlouhodobě schopni statisticky vyhodnocovat, jak dlouho trval každý cyklus a jak dlouho operátorovi trvalo umístit polotovar.

Program zajišťující automatické ukládání hodnot do souboru byl vytvořen v programovacím jazyku VBSkript. Jedná se o vcelku zastaralý programovací jazyk, využívaný k vytváření webových stránek. Důvodem využití je automatická podpora tohoto programovacího jazyka v HMI v TIA.

Struktura kódu je poté velmi jednoduchá. V tab. 6 je rozepsána struktura tohoto programu (obr. 124).

Řádek	Popis
1	Název programu
3-7	Definice proměnných a následně cesty uložení, názvu a typu souboru
9, 21	Definování proměnné jako systémové funkce pro vytváření složek/souborů
13-17	Kontrola, zda existuje definovaná cesta, jinak dojde k vytvoření složky
23-37	Kontrola, zda existuje definovaný soubor, jinak dojde k vytvoření souboru Následně dojde k otevření souboru, zapsání prvního řádku (sloupců) a zavření souboru.
41-53	Otevření souboru a zapsání definovaných hodnot do volného řádku tabulky

Tabulka 6 – Princip fungování programu (obr. 124)

```
Sub tmpExport_S_OK()

Dim FolderPath, ObjectPath, Filename, File, FileExist, Columns, Row

FolderPath = "C:\Games\"

Filename = "Sachta_log.csv"

Set ObjectPath = CreateObject("Scripting.FilesystemObject")

'Check if folder exists

If Not ObjectPath.FolderExists(FolderPath) Then

ObjectPath.CreateFolder FolderPath

End If

' Check if file exists

Set File = CreateObject("Scripting.FilesystemObject")

FileExist = File.FileExists(FolderPath & "\" & Filename)

If FileExist = False Then

File.CreateTextFile(FolderPath & "\" & Filename)

Set Columns = File.OpenTextFile(FolderPath & "\" & Filename, 8)

                Columns.WriteLine("Time ; LAST_CYCLE_[MS] ; CYCLES_CELKEM_[MS] ; CYCLES_POCET")

                Columns.Close

                Set File = Nothing

End If

'Write data to file

Set File = CreateObject("Scripting.FilesystemObject")

Set Row = File.OpenTextFile(FolderPath & "\" & Filename, 8)

Row.WriteLine(Time & ";" &SmartTags("DB_LD_Robots_Sachta_Auto_P2_t_CycleTime_last_Sachta") & ";" &
SmartTags("DB_LD_Robots_Sachta_Auto_P2_t_Cycles_Time_celkem") & ";" & SmartTags("DB_LD_Robots_Sachta_Auto_P2_n_Cycles_celkem") & ";")

Row.Close

Set File = Nothing
'Here we are releasing the File.

End Sub
```

Obr. 124 – HMI – Program pro automatické ukládání časů cyklů do souboru

	A	B	C	D
1	Time	LAST_CYCLE_[MS]	CYCLES_CELKEM_[MS]	CYCLES_POCET
2	9:44:36	0	0	0
3	9:44:44	0	0	0
4	9:46:59	113587	113587	1
5	9:47:00	113587	113587	1
6	9:53:48	0	0	0
7	9:53:53	0	0	0
8	10:09:34	0	0	0
9	10:09:37	0	0	0
10	10:09:44	0	0	0
11	10:09:49	0	0	0
12	13:44:44	0	0	0
13	13:44:51	0	0	0
14	23:45:53	0	0	0
15	23:45:53	0	0	0

	A	B	C	D
1	Time	LAST_CYCLE_[MS]	CYCLES_CELKEM_[MS]	CYCLES_POCET
2	22:26:48	10484	10484	1
3	22:27:52	10484	10484	1
4	9:42:46	0	0	0
5	9:42:53	0	0	0
6	9:43:20	13954	13954	1
7	9:43:25	13954	13954	1
8	9:44:09	35121	49075	2
9	9:44:14	35121	49075	2
10	9:45:40	40870	89945	3
11	9:45:45	40870	89945	3

Obr. 125 – Ukázka ukládaných hodnot (z programu na obr. 125)

7.11.2 Manual

Manuální režim slouží primárně k údržbě, servisu, instalaci a při dalších speciálních příležitostech. Mód je tvořen pomocí čtyř obrazovek (obr. 126) s přepínáním po levé straně uprostřed. Každá obrazovka je určena k ovládání a zpětné vazbě konkrétních skupin prvků pracoviště.

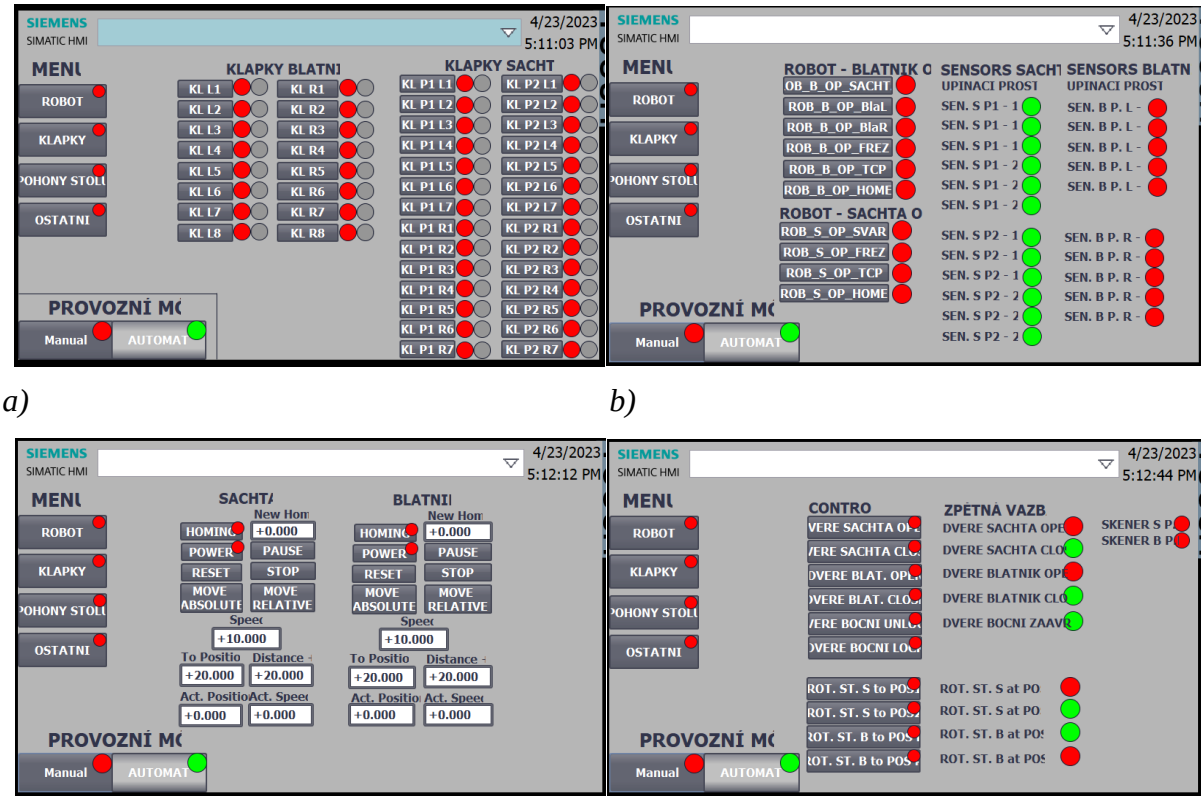
První z nich KLAPKY umožňuje operátorovi manuálně ovládat každý pneumatický válec (umožněno díky centrálnímu ventilovému bloku, viz kap. 6.3.1.). Levá dioda (červená) znázorňuje stav CLOSED (zavřeno) a pravá (zelená) stav OPENED (otevřeno). Pokud se upínací zařízení pohybuje mezi polohami, obě diody svítí neutrální šedou barvou.

Druhá obrazovka ROBOT obsahuje ovládání všech robotických operací a zpětnou vazbu o všech stavech signálů indukčních snímačů, detekujících upnutý polotovar na rotačním stole.

Další obrazovka (c) představuje ovládání dle názvu: POHONY STOLU. Zde jsme schopni manuálně zapínat pohon rotačních stolů, spouštět homing operaci a pohybovat stolem pomocí základních funkcí definovaných v kap. 7.5. Číselná pole umožňují nastavit žádanou rychlost pohybu a pozici, poté můžeme spustit pohyb absolutní nebo relativní.

Poslední obrazovka obsahuje kontrolní tlačítka určené k ovládání bezpečnostních dveří.

Obrazovky byly vytvořeny tak, aby bylo uživateli na první pohled srozumitelné ovládání a zpětnovazební signálová struktura.



a) *b)*

c) *d)*

Obr. 126 – HMI – MANUAL a) Klapky, b) Robot, c) Motory, d) Ostatní

7.12 Robotický program

V kapitole 6.4 byly v PS vytvořeny podpůrné signály, které by byly využity v reálném nasazení robotů. Tyto signály jsme si předpřipravili následně i v TIA portálu (obr. 127) a byly by využity v reálném řízení robotů s kontrolérem.

Druhou možností by mohlo být využití softwaru KUKA.Sim, kde je možné věrně simulovat kontrolér a propojit tento software s PS. Jelikož tento software nebyl k dispozici, byl v PS vytvořen logický podprogram, který zjednodušeně simuluje robotickou logiku (kap. 6.4).

Třetí možností simulace chování robotu je využití plug-in TIA portálu s názvem SIMATIC Robot Library V1.1.0.0. Jedná se o simulační prostředí přímo v softwaru TIA, které podporuje celou řadu výrobců robotů. Funguje podobně jako řízení virtuálních os a frekvenčního měniče v kap. 7.5. Nevýhodou je časově omezená licence (dvě hodiny) a z toho důvodu tuto možnost využívat nebudeme.

ROBOT_CONTROL

	Name	Data type		Name	Data type
1	PNI_S_cycleOn	Bool	16	PNI_B_cycleOn	Bool
2	PNI_S_motorsOffState	Bool	17	PNI_B_motorsOffState	Bool
3	PNI_S_motorsOnState	Bool	18	PNI_B_motorsOnState	Bool
4	PNI_S_reqOp	DInt	19	PNI_B_reqOp	DInt
5	PNI_S_robotWorking	Bool	20	PNI_B_robotWorking	Bool
6	PNI_S_runChainOk	Bool	21	PNI_B_runChainOk	Bool
7	PNO_S_motorsOff	Bool	22	PNO_B_motorsOff	Bool
8	PNO_S_motorsOn	Bool	23	PNO_B_motorsOn	Bool
9	PNO_S_reqOp	DInt	24	PNO_B_reqOp	DInt
10	PNO_S_start	Bool	25	PNO_B_start	Bool
11	PNO_S_startAtMain	Bool	26	PNO_B_startAtMain	Bool
12	PNO_S_startOp(1)	Bool	27	PNO_B_startOp(1)	Bool
13	PNO_S_stop	Bool	28	PNO_B_stop	Bool
14	PNO_S_stopAtEndOfCycle	Bool	29	PNO_B_stopAtEndOfCycle	Bool
15	PNI_S_autoOn	Bool	30	PNI_B_autoOn	Bool

Obr. 127 – Signálová struktura robotů v TIA

Po vytvoření realistické signálové struktury a simulované logiky kontroléru, bylo posledním krokem vygenerovat robotické programy v PS ve formě, kterou jsme schopni importovat do reálného robotu.

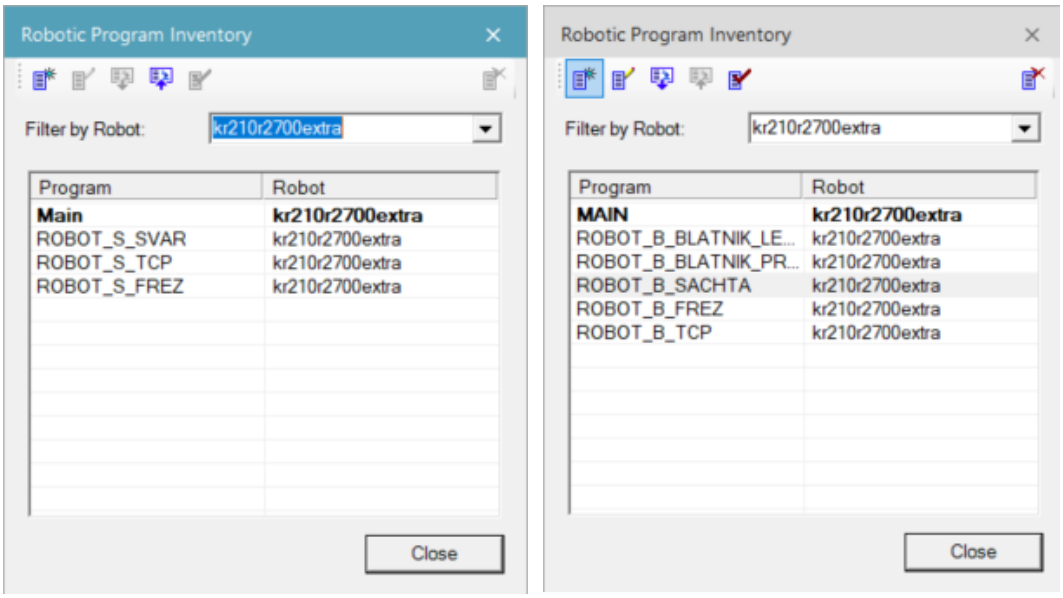
Abychom byli schopni vygenerovat soubor pro roboty, prvním krokem bylo upravit detaily jednotlivých robotických operací, tzn. rychlost, zónu, WObjecty a další. Po dokončení byly jednotlivé operace vloženy do robotického inventáře (obr. 128), kde jsme již jednoduše schopni exportovat robotický program.

Po exportu jsme obdrželi dva soubory. První z nich s příponou .DATA obsahuje údaje o všech bodech operace. Druhý typu .SRC obsahuje samotné pohybové povely.

Jelikož PS generuje kód v poněkud surovém stavu, následně by bylo nutné program upravit, například uspořádat, odstranit nadbytečné zakomentované řádky a přidat signály určené k ovládání svařovacího zdroje a nástroje. Jelikož nebyl k dispozici software KUKA, k úpravám byl zvolen software Visual Studio Code. Jedná se o univerzální editor zdrojového kódu od firmy Microsoft. Po stažení dodatečného plug-inu (zásuvný modul) bylo možné provádět úpravy robotického kódu (především hrubé syntaxe). Jelikož VS Code neumožňuje kontrolu syntaxí kódu, nebyly robotické programy dále upravovány. V reálném nasazení by totiž bylo nutné programy v každém případě doladit přímo na robotu.

Úpravy vygenerovaného kódu by spočívaly v manuálním přidání ovládacích signálů typu WAIT (čekej), WAIT FOR (čekej na), WELD (svařuj) atd. V původním stavu vygenerovaný program obsahuje návrh spouštěcích signálů ke svařování, ale u reálného robotu by bylo nutné strukturu upravit na míru pomocí nastavení v kontroléru.

Největší úpravou robotického programu bylo vytvoření **hlavního programu MAIN** ve VSC (obr. 130), který obsahuje rozřazovací program, určený k volání jednotlivých podprogramů (operací) na základě požadavku signálu ReqOp a startovacího signálu StartOp. Aby bylo možné přes tyto signály komunikovat, bylo by nutné v reálném kontroléru nakonfigurovat automatické externí signály.



a) *b)*

Obr. 128 – Robotický inventář a) Robot_S, b) Robot_B

Paths & Locations	Config	Acc	Tool Nr	Base Nr	Motion	Speed	Zone	Storage...	OLP Commands	Duration
116810R01_Svare...										69.89
HOME	S 2 T 10	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE			0
via	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE			1.59
O1_P1	S 2 T 10	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	2.77
O1_P2	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	2.91
O1_P3	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	3.01
O1_P4	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	3.12
O1_P5	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	2.69
O1_P6	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	3.48
O1_P7	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE		# Destination zce_28_59d381004_118_00_20180229 # Drive C	2.45
via31	S 2 T 11	100 % (d...	1 (Fr) - E...	0 - Worl...	PTP	100 %	FINE			1.1

Obr. 129 – Základní konfigurace bodů robotických operací v PS

```
15  DEF CELL ( )
16    ...
17    INIT
18    BASISTECH INI
19    CHECK HOME
20    PTP HOME Vel= 100 % DEFAULT
21    AUTOEXT INI
22    LOOP
23      P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_GET,DMY[],0 )
24      SWITCH PGNO ; Select with Programnumber
25
26        CASE 1
27        P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0 )
28        IF #EXT_StartOp THEN
29        ;EXAMPLE1 ( ) ; Call User-Program
30        ENDIF
31
32        CASE 2
33        P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0 )
34        IF #EXT_StartOp THEN
35        ;EXAMPLE1 ( ) ; Call User-Program
36        ENDIF
37
38        CASE 3
39        P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_ACKN,DMY[],0 )
40        IF #EXT_StartOp THEN
41        ;EXAMPLE1 ( ) ; Call User-Program
42        ENDIF
43
44        DEFAULT
45        P00 (#EXT_PGNO,#PGNO_FAULT,DMY[],0 )
46      ENDSWITCH
47    ENDLOOP
48  END
```

Obr. 130 – Předpřipravený MAIN program robotů

Řádek	Popis
15	Název programu
23	Volání hodnoty PNO_ReqOp (z pohledu robotu input)
24	Na základě hodnoty PNO_ReqOp dojde k přepnutí na žádaný CASE (případ)
26-30	Dojde k odeslání zpětné vazby o přijaté hodnotě PNO_ReqOp a spuštění podprogramu, pokud EXT_StartOp=true
45-46	Případ DEFAULT slouží k odeslání chybové hlášky o špatné hodnotě (neexistuje pro ni případ) vstupního signálu

Tabulka 7 – Princip fungování programu (obr. 130)

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V práci byly splněny všechny žádané cíle s myšlenkou vytvořit virtuální zprovoznění s co možná nejpodobnější signálovou strukturou té skutečné. Zadané virtuální pracoviště obsahuje celou řadu prvků a téměř neomezené množství cest, které by umožňovaly projekt dále vylepšovat a přibližovat reálnému fungování, a tím i dokonalému virtuálnímu dvojčeti.

Z pohledu **robotů** by bylo optimální využít dodatečný simulační software (od výrobce robotů), díky kterému by bylo možné simulovat kontrolér a upravit vygenerovaný robotický program z PS tak, aby odpovídal jedna ku jedné reálnému kontroléru. Náhrada programu v podobě VS Code je z pohledu optimalizace robotického programu vhodná jen na vytváření základních struktur. V reálném nasazení by ovšem v každém případě bylo nutné projít svářecí body robotických operací a nastavit optimální podmínky sváření přímo na reálném polotovaru.

Z pohledu **PS** by dále bylo možné vytvořit uchopovací operace operátorů, provést analýzu jejich ergonomie a následně návrhy úprav pracoviště tak, aby byl systém více vstřícný a bezpečný operátorovi. Poté by bylo vhodné vytvořit dodatečnou signálovou strukturu simulující informační a bezpečnostní senzoriku (tlak pneumatických rozvodů, teplota v různých částech pracoviště, detekce nepovolaných osob v blízkém okolí PP atd.).

Z pohledu **TIA** (PLC) by bylo vhodné hlouběji řešit funkční bezpečnost pracoviště (například pomocí dodatečného safety PLC), a tím snížit pravděpodobnost vniku nebezpečných situací a rizik. Dále by bylo možné řídící podprogramy zjednodušit a vhodněji optimalizovat za účelem vytvoření univerzální šablony ovládacích podprogramů.

HMI obrazovky jsou vytvořeny bez nadbytečných animací. Důvodem je přehlednost a orientace. Dalším rozšířením by mohlo být např. vytvoření obrazovky s 3D pohledem na pracoviště. Tento pohled by byl vhodný pro nového operátora linky. Dále by zde v reálném využití bylo vhodné vytvořit samostatnou obrazovku určenou pouze k servisním pracím.

9 ZÁVĚR

Práce byla rozdělena do několika částí. V první rešeršní části byl přiblížen význam virtuálního zprovoznění a teoreticky přiblíženy všechny prvky, které jsou ke správnému oživení pracoviště třeba znát. Např. roboty, PLC, komunikační protokoly, softwary PS a TIA Portal.

Dalším krokem bylo rozebrat zadané neživé pracoviště, prvek po prvku. Důvodem bylo hlubší pochopení problematiky a širší rozhled nad danou problematikou. Výsledkem je přehled celé virtuální buňky, díky kterému bylo možné vytvořit logický postup, jak optimálně oživit tento výrobní systém.

Virtuální zprovozní poté bylo rozděleno na dvě části. První z nich bylo oživení pracoviště v softwaru Process Simulate. To znamenalo vytvoření signálové struktury, logiky a animace každé jednotlivé součásti, rozebrané v předešlém kroku. Po každé interakci byl každý prvek testován pouze v PS bez vyššího řídícího systému. Teprve po kompletním (prozatímním) oživení pracoviště v PS bylo následně vytvořeno nové simulované PLC v PLCSim Advanced a softwary propojeny.

Poté bylo možné začít s druhou částí virtuálního zprovozňování, a to s virtuálním kontrolérem. V práci byl využit software TIA Portal pro programování virtuálního PLC. Prvním krokem byl export signálové struktury z PS do TIA a test vzájemné signálové komunikace mezi softwary. Po úspěšném otestování byla vytvořena centrální kontrolní databáze signálů, díky které byla zajištěna přehlednost signálové struktury celého projektu.

Dalším krokem bylo vytvořit řídící podprogramy výrobního systému. Nejdříve bylo vhodné vytvořit myšlenkovou mapu a vývojový diagram. Výsledný program je rozdělen na dva primární podprogramy (operátor a roboty), vedlejší podprogramy, které řeší požadovanou inicializaci prvků pracoviště před zapnutím automatického režimu, a jeden hlavní program, řídící všechny ostatní podprogramy, a tím i logiku celého pracoviště, včetně základních bezpečnostních prvků.

Posledním krokem virtuálního zprovoznění bylo vytvořit ovládací HMI a definovat jeho obrazovky, využité k ovládání pracoviště v režimu MANUAL či AUTOMAT.

Kromě řídících programů byl software TIA využit i pro vytvoření síťové struktury mezi všemi využitými komponentami (PLC, HMI a VFD). Díky tomu bylo možné definovat IP adresy a komunikační protokoly mezi jednotlivými komponentami, a tím detailněji virtuálně předpřipravit model k reálnému nasazení.

Mimo TIA Portal a PS, byly k práci využity další softwary. Např. Matlab (skripty upravující tabulky signálů) a VS Code (provizorní ladění vygenerovaného robotického programu a vytváření nového MAIN programu, volajícího žádané operace/podprogramy).

Výsledkem práce je virtuálně zprovozněný model zadaného pracoviště, který přináší výhodu off-line testování změn pracoviště, nových polotovarů, robotických programů a v neposlední řadě vizualizace zajišťující detailní přehled nad výrobním systémem.

Na závěr lze říci, že byly splněny zadané cíle této diplomové práce. Dodatečným osobním cílem bylo vytvořit virtuální zprovoznění co nejvěrnější tomu reálnému, a i ten byl v rámci možností splněn. Zadané pracoviště je velmi obsáhlé, ale i nadále by bylo možné v práci hlouběji pokračovat.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

10.1 Zdroje použité literatury

[1] TURNBULL, CHARLOTTE. What is Virtual Comissioning. In: *Virtual Commissioning* [online]. 30-12-2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://virtualcommissioning.com/what-is-virtual-commissioning/

[2] BRAŽINA, Jakub. Virtuální zprovoznění výrobního systému [online]. Brno, 2019 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116785 . Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška

[3] Virtuální zprovoznění výrobních linek. In: *ElektroPrůmysl* [online]. Ostrava: TAURID OSTRAVA, 30-7-2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.elektroprumysl.cz/software/virtualni-zprovozneni-vyrobnich-linek

[4] Bodové svařování. In: *ROCKWELD GROUP* [online]. PRAHA: ROCKWELD GROUP, 2013 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://rockweld.cz/bodove-svarovani/

[5] BUCHAL, D. Virtuální model stroje Tecnomatix Process Simulate. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jakub Arm.

[6] What is robotics virtual commissioning. In: *Siemens Software* [online]. Mnichov, 2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/what-is-robotics-virtual-commissioning/102446

[7] Programovatelný logický automat. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat

[8] Co je programovatelný logický automat. In: *ElektroPrůmysl* [online]. 2011 - 2023, 8-9-2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/co-je-programovatelny-logicky-automat-plc-1-cast

[9] Programmable logic controller. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller

[10] STAFF, Editorial. Top PLC Manufacturers. In: *Inst Tools* [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://instrumentationtools.com/top-plc-manufacturers/

[11] Top 20 PLC Manufacturers. In: *Instrumentation Blog* [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://instrumentationblog.com/plc-manufacturers-plc-brands/

[12] What is difference between PLC and SCADA. In: *Control Freaks* [online]. Spalding, 2020, 18-5-2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.controlfreaksltd.co.uk/what-is-the-difference-between-plc-and-scada/

[13] PLC vs. HMI. In: *Software Real-Time Automatinon* [online]. Yorkville, 08-05-2022 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.empoweredautomation.com/plc-vs-hmi-what-s-the-difference-between-these-two-industrial-automation-technologies

[14] Variable frequency drive. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Variable-frequency_drive

[15] VFD PID Controller. In: *VFD - Variable Frequency Drives* [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://www.vfds.org/vfd-pid-control-997149.html

[16] Why using PID Control on VFD?. In: *GoHZ* [online]. Golden springs, 17-7-2016 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://www.gohz.com/why-using-pid-control-on-vfd

[17] What is PID Controller and how it works. In: *PLCynergy* [online]. 16-1-2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://plcynergy.com/pid-controller/

[18] PID tuning methods. In: *INCATools* [online]. Bosscheweg [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.incatools.com/pid-tuning/pid-tuning-methods/

[19] Industrial robot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot

[20] FAIRCHILD, Mark. Types of Industrial Robots and Their Different Uses. In: *HowToRobot* [online]. 31-08-2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses

[21] Programmable Logic Controller Basics. In: *C3controls* [online]. Beaver, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.c3controls.com/white-paper/back-to-plc-basics-guide-programmable-logic-controller/

[22] Robot YuMi. In: *Technický Deník* [online]. Praha, 29-06-2020 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/robot-yumi-ktery-slavi-5-let-prijima-vyzvy-i-ve-zdravotnictvi_50644.html

[23] Industrial Robot Functionality and Coordiante System. In: *Inlearc* [online]. Tallinn [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.tthk.ee/inlearcs/industrial-robot-functionality-and-coordinate-systems/

[24] MUELANER, Jody. Wireless Protocols for Industrial Automation. In: *DigiKey* [online]. Minnesota, 1995, 06-05-2021 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.digikey.cz/en/articles/comparing-wireless-protocols-for-industrial-automation

[25] IEEE_802.11. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

[26] Welding gun or spot welding. In: *NIMAK GmbH* [online]. Wissen [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.nimak.de/en/spotweldinggun/

[27] Nouzová vrata. In: *ASSA ABLOY* [online]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.assaabloyentrance.com/cz/cs/solutions/products/high-speed-doors/emergency-exit-doors/assa-abloy-rr300-plus-emergency-exit-door

[28] Industrial Communication Protocols. In: *ASSA ABLOY* [online]. Northampton [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.machinemetrics.com/connectivity/protocols

[29] CHROMČÍK, Adam. *Návrh virtuálního modelu robotického pracoviště* [online]. Brno, 2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174311. Diplomová práce. Vysoké učení technivké v Brně. Vedoucí práce Jan Vetiška.

[30] HAMPL, Lukáš. *Návrh a realizace robotických operací v systému Tecnomatix Process Simulate*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Václav Kaczmarczyk.

[31] *SINAMICS G: Positioning G120 with S7-1500 and HMI* [online]. In: . Munich: SIEMENS, 07-2018, s. 67 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/970/81666970/att_956174/v1/81666970_G120_at_S7-1500_TO_DOC_v1d2_en.pdf

[32] *KUKA System Software 8.3: Operating and Progamming Instructions for System Integration* [online]. In: . Augsburg: KUKA Roboter, 14-01-2015, s. 491 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: http://www.wtech.com.tw/public/download/manual/kuka/krc4/KUKA%20KSS-8.3-Programming-Manual-for-SI.pdf

[33] *KUKA Reference Guide v4_1: Software - KR C1 / KR C2 / KR C3* [online]. In: . Augsburg: KUKA Roboter, s. 138 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: http://robot.zaab.org/wp-content/uploads/2014/04/KRL-Reference-Guide-v4_1.pdf

[34] *KUKA ServoGun TC 4.1: For KUKA System Software 8.2* [online]. In: . Augsburg: KUKA Roboter, 29-07-2013, s. 125 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: http://supportwop.com/IntegrationRobot/content/5-Applicatifs_metiers_KST/ServoGun/KST_ServoGun_TC_41_en.pdf

[35] *TIA Portal STEP 7 Basic V10.5* [online]. In: . NÜRNBERG: Siemens, 12-2009, s. 202 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att_829827/v1/GS_STEP7Bas105enUS.pdf

[36] TIA Portal - Documents. In: *Siemens* [online]. Augsburg, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/document/65601780/tia-portal-an-overview-of-the-most-important-documents-and-links-controller?dti=0&lc=en-CZ

[37] Siemens - General Forum. *Siemens* [online]. Augsburg, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://community.sw.siemens.com/s/topic/0TO4O000000MilkWAC/general-forum

[38] *Process Simulate - Manual* [online]. Siemens, 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/288782031/PL20201130102000506.tecnomatix_eMS_sc.xid1015765/xid1657141

10.2 Zdroje obrázků

[1] Digitalisierung im engineering infografik. In: *Heitec* [online]. Erlangen: Heitec, 2022 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://automation.heitec.de/02-automatisierung/02-loesungen/01-heitec-40/en/image-thumb__1134__content-full/digitalisierung-im-engineering-infografik-en@2x.webp

[2] Odporové svařování. In: *ROCKWELD-GROUP* [online]. PRAHA: ROCKWELD-GROUP, 2013 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://rockweld.cz/wp-content/gallery/bodove-svarovani/Odporov%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD.jpg

[3] Bodové svařování. In: *ROCKWELD-GROUP* [online]. PRAHA: ROCKWELD-GROUP, 2013 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://rockweld.cz/wp-

content/gallery/bodove-svarovani/Bodov%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_1.jpg

[4] Dual quick changer. In: *SAMSYS* [online]. Alzey: SAMSYS, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.samsys.eu/wp-content/uploads/2021/09/dualquickchanger-6.jpg

[5] Cartesian Robot. In: *Linear Motion Tips* [online]. British Virgin Islands: RobotWorx, 2018 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.linearmotiontips.com/wp-content/uploads/2015/12/CartesianRobotWorkSpace-300x210.bmp

[6] Schematic diagram of a SCARA robot. In: *HowToRobot* [online]. HowToRobot, 2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://howtorobot.com/sites/default/files/inline-images/Schematic%20diagram%20of%20a%20SCARA%20robot%20%20-%20946%20X%20751%20-%20%28from%20shutterstock%20500841208%29.jpg

[7] 6 Axis Robot. In: *RobotMotion* [online]. Bridgnorth: RobotMotion, 2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.robomotion.co.uk/wp-content/uploads/2020/09/6-axis-robot-2048x1357.jpg

[8] ABB QuMi II. In: *Plastics Technology* [online]. Oklahoma: Plastics Technology, 2015 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/cms/ABB%20YuMi%20II.jpeg;maxWidth=600

[9] Delta Robot. In: *B&R Industrial Automation* [online]. Brno: B&R, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/fileadmin/1604846168210-de-html-1.0.jpg

[10] High precision Low accuracy. In: *Wikipedie* [online]. Brno: Wikipedie, 2018 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/High_precision_Low_accuracy.svg/1024px-High_precision_Low_accuracy.svg.png

[11] High accuracy Low precision. In: *Wikipedie* [online]. Brno: Wikipedie, 2018 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/10/High_accuracy_Low_precision.svg/1024px-High_accuracy_Low_precision.svg.png

[12] Robotics Coordinate System. In: *Learnchannel* [online]. Learnchannel, 2017 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://learnchannel-tv.com/wp-content/uploads/2020/10/Robotics-coordinate-systems.png

[13] TCP calibration. In: *Emeral Insight* [online]. Bingley: Emeral Insight, 2019 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.emerald.com/insight/proxy/img?link=resource/id/urn:emeraldgroup.com:asset:id:article:10_1108_IR-03-2019-0040/urn:emeraldgroup.com:asset:id:binary:IR-03-2019-004029.tif

[14] TCP RobotStudio. In: *Autodesk* [online]. San Francisco: Autodesk, 2018 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://forums.autodesk.com/t5/image/serverpage/image-id/555863iC739229F59C3B226/image-size/large?v=v2&px=999

[15] TraccTCP. In: *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/images/products/software/sorftware_tracctcp.jpg?rev=d49250d5ae6a4cb68bd62b1a684a5a9d&hash=5CF2EE9070FDC1504148E88D638BA2C4

[16] TCP. In: *Robot Welding* [online]. Robot Welding, 2001 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: http://www.robot-welding.com/images/TCP.jpg

[17] Robot Command. In: *Control.com* [online]. Shawn Dietrich, 2022 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://control.com/uploads/articles/robotcommand_2.jpeg

[18] KUKA smart pad. In: *Industrial robot book* [online]. Industrial robot book, 2019 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://roboticsbook.com/wp-content/uploads/2019/04/kuka-smart-pad-robot-teach-pendant.jpg

[19] PLC scan cycle. In: *C3controls* [online]. Beaver: c3controls, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://img.c3controls.com/image/upload/c_fill,dpr_auto,f_auto,fl_lossy,g_west,h_500,q_auto,w_auto/v1/content/c3controls-PLC-Scan-Cycle

[20] LOGO!. In: *WiAutomation* [online]. Napoli: WiAutomation, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://cz.wiautomation.com/public/images/landing/anticipa/product/6ED10521CC080BA1.jpg

[21] EATON Compact PLC. In: *Eaton* [online]. Pohořelice: Eaton, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/industrialcontrols-drives-automation-sensors/en-globalprime/programmable-logic-controllers-(plc)/ec4p-programmable-logic-controllers/eaton-ec4p-compact-plc-with-display-1000x1000.jpg

[22] Modular PLC. In: *Wiautomation* [online]. Napoli: wiautomation, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://cz.wiautomation.com/public/images/landing/anticipa/product/6ES75121CK010AB0.jpg

[23] Modular PLC. In: *Siemens* [online]. Mnichov: Siemens, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:7d2490b0-9b33-4b02-a571-e51b8310ea1c/width:1024/quality:HIGH/7d2490b0-9b33-4b02-a571-e51b8310ea1c-high.webp

[24] VFD. In: *Electricla Technology* [online]. Electricla Technology, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.electricaltechnology.org/wp-content/uploads/2021/10/Variable-Frequency-Drive-Circuit-Diagram.png

[25] Output1. In: *Whippedcreamsounds* [online]. whippedcreamsounds, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://cdn.shortpixel.ai/spai/q_lossless+w_372+h_148+to_webp+ret_img/https://www.whippedcreamsounds.com/wp-content/uploads/2022/12/cap1.png

[26] Output2. In: *Whippedcreamsounds* [online]. whippedcreamsounds, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://cdn.shortpixel.ai/spai/q_lossless+w_372+h_148+to_webp+ret_img/https://www.whippedcreamsounds.com/wp-content/uploads/2022/12/cap2.png

[27] VFD PWM. In: *Select Electrical* [online]. Mayerthorpe: Select Electrical, 2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://selectelectricalent.com/wp-content/uploads/2021/05/Varial-Frequency-Drive-VFD-PWM-Output.png

[28] PID controller. In: *PLCynergy* [online]. PLCynergy, 2021 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://plcynergy.com/wp-content/uploads/2021/01/PID-controller.jpg

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam zkratek

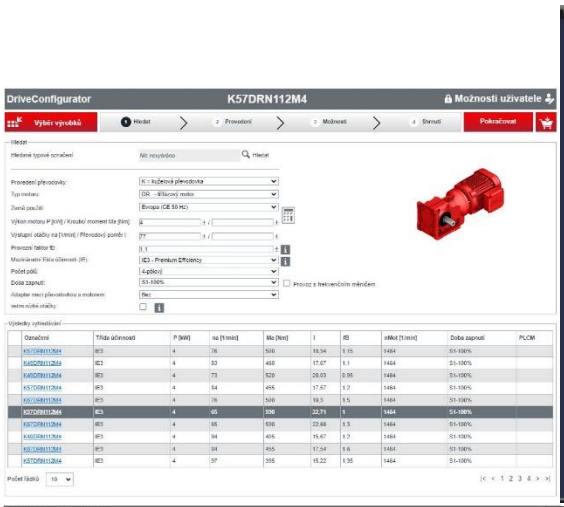
BCS	Base Coordinate Systém
CNC	Computer Numerical Control (Počítačové číslicové řízení)
CPU	Central Processing Unit
DCS	Decentralised Control System
FB	Function block (Funkční blok)
FBD	Function Blok Diagram
FC	Function (Funkce)
HMI	Human Machine Interface
IL	Instruction List
IO	Inputs/Outputs
LD, LAD	Ladder Diagram
LIN	Linear
OLP	Off-line programming (Off-line programování)
PLC	Programmable Logic Controller
PS	Process Simulate
PTP	Point-to-Point
PWM	Pulse Wave Modulation (Pulní vlnová modulace)
R	Rotace
RS	RobotStudio
SCADA	Supervisor Control And Data Acquisition
SCL	Structured Text (Strukturovaný text)
SFC	Sequential Function
SS	Souřadný systém
T	Translace
TCP	Tool Center Point
TIA	Totally Integrated Automation
TO	Technology Objects
UCS	User Coordinate Systém
VSC	Visual Studio Code
WCS	World Coordinate System
WOF	World Object Frame

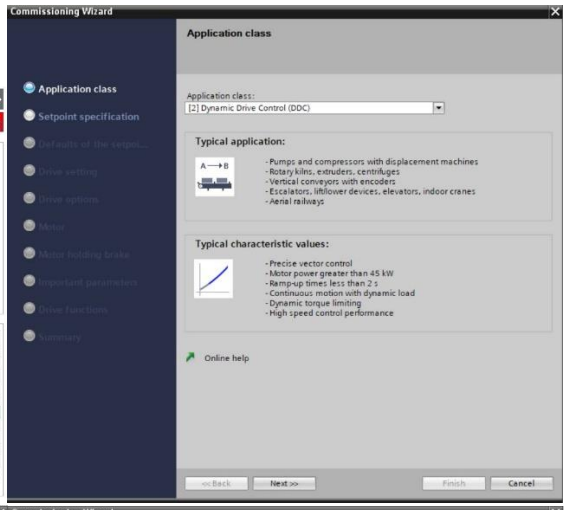
11.2 Seznam tabulek

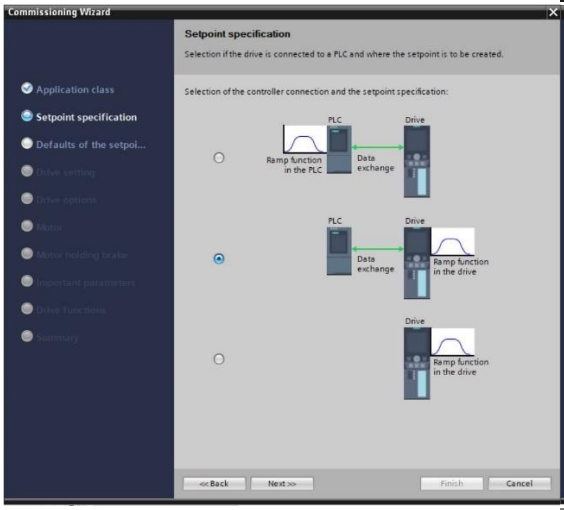
11.3 Seznam obrázků

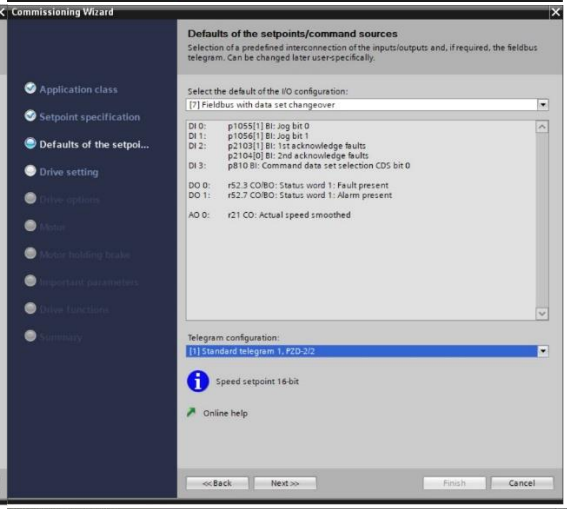
PŘÍLOHY

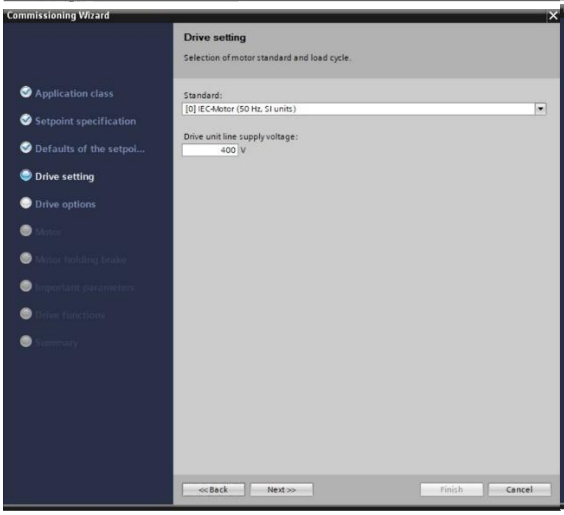
1) Výběr pohonu a konfigurace frekvenčního měniče G120

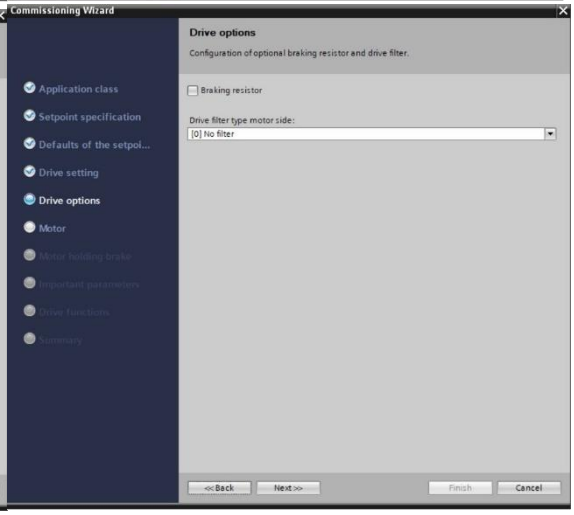


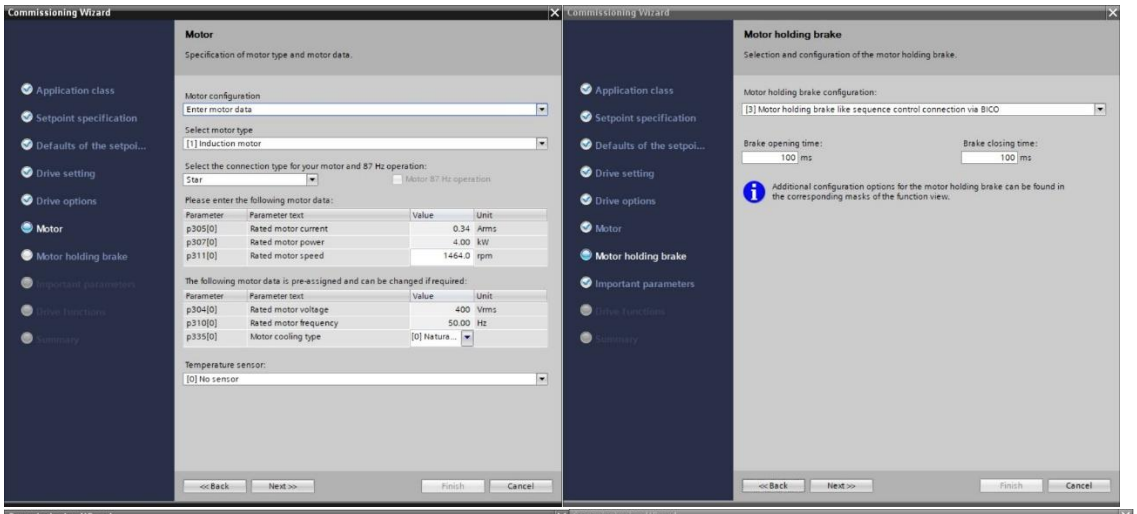


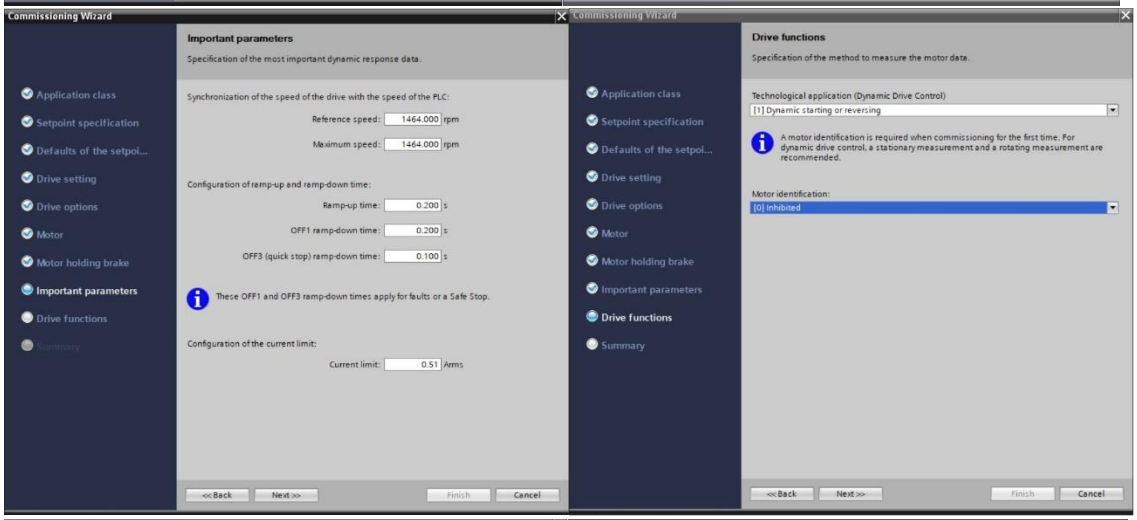


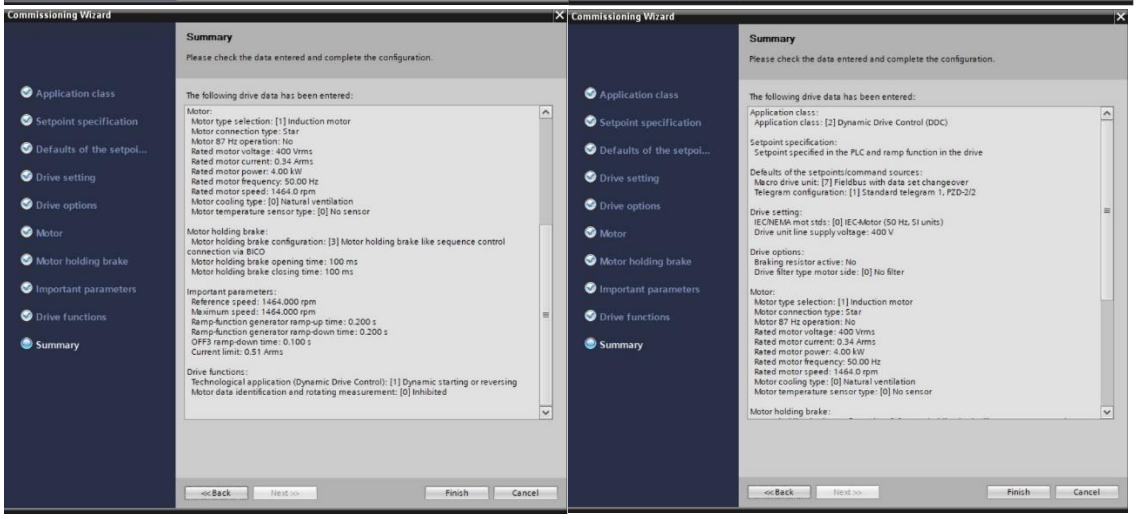




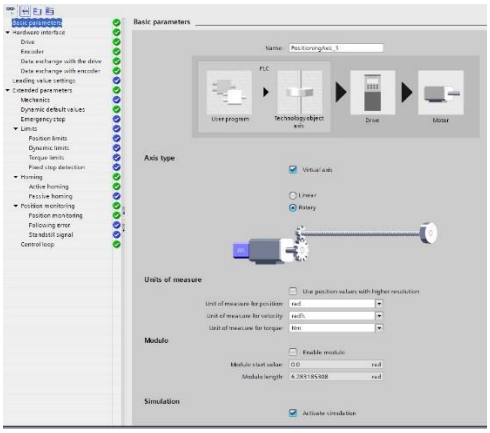


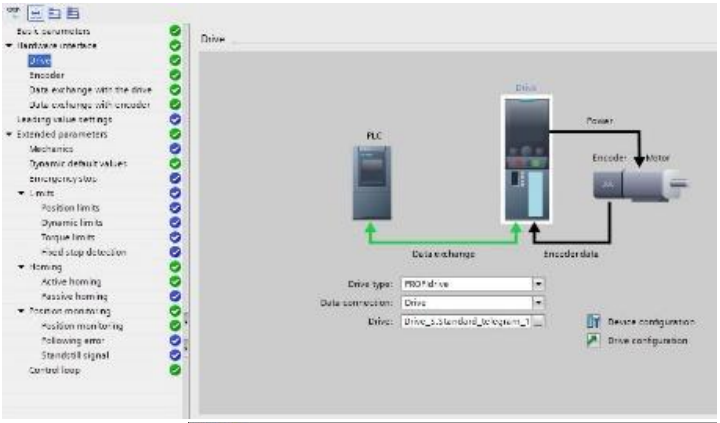

Commissioning Wizard
Motor
Specification of motor type and motor data.
Application class
Setpoint specification
Defaults of the setpoi...
Drive setting
Drive options
Motor
Motor holding brake
Important parameters
Drive functions
Summary
Motor configuration
Enter motor data
Select motor type
[1] Induction motor
Select the connection type for your motor and 87 Hz operation:
Star
Motor 87 Hz operation
Please enter the following motor data:
Parameter
Parameter text
Value
Unit
p305[0]
Rated motor current
0.34
Arms
p307[0]
Rated motor power
4.00
kW
p311[0]
Rated motor speed
1464.0
rpm
The following motor data is pre-assigned and can be changed if required:
p304[0]
Rated motor voltage
400
Vrms
p310[0]
Rated motor frequency
50.00
Hz
p335[0]
Motor cooling type
[0] Natura...
Temperature sensor:
[0] No sensor
<<Back
Next >>
Finish
Cancel
Commissioning Wizard
Motor holding brake
Selection and configuration of the motor holding brake.
Application class
Setpoint specification
Defaults of the setpoi...
Drive setting
Drive options
Motor
Motor holding brake
Important parameters
Drive functions
Summary
Motor holding brake configuration:
[3] Motor holding brake like sequence control connection via BICO
Brake opening time:
100
ms
Brake closing time:
100
ms
Additional configuration options for the motor holding brake can be found in the corresponding masks of the function view.
<<Back
Next >>
Finish
Cancel

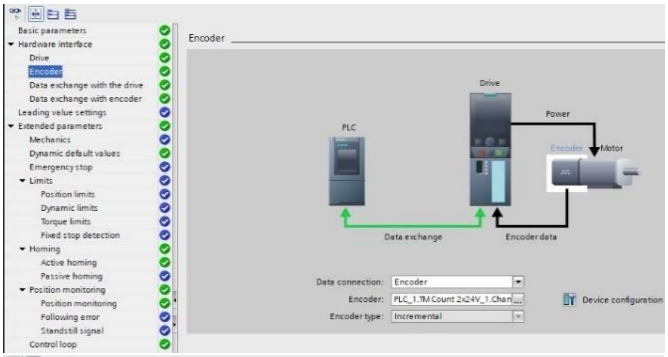

Commissioning Wizard
Important parameters
Specification of the most important dynamic response data.
Application class
Setpoint specification
Defaults of the setpoi...
Drive setting
Drive options
Motor
Motor holding brake
Important parameters
Drive functions
Summary
Synchronization of the speed of the drive with the speed of the PLC:
Reference speed:
1464.000
rpm
Maximum speed:
1464.000
rpm
Configuration of ramp-up and ramp-down time:
Ramp-up time:
0.200
s
OFF1 ramp-down time:
0.200
s
OFF3 (quick stop) ramp-down time:
0.100
s
These OFF1 and OFF3 ramp-down times apply for faults or a Safe Stop.
Configuration of the current limit:
Current limit:
0.51
Arms
<<Back
Next >>
Finish
Cancel
Commissioning Wizard
Drive functions
Specification of the method to measure the motor data.
Application class
Setpoint specification
Defaults of the setpoi...
Drive setting
Drive options
Motor
Motor holding brake
Important parameters
Drive functions
Summary
Technological application (Dynamic Drive Control)
[1] Dynamic starting or reversing
A motor identification is required when commissioning for the first time. For dynamic drive control, a stationary measurement and a rotating measurement are recommended.
Motor identification:
[0] Inhibited
<<Back
Next >>
Finish
Cancel

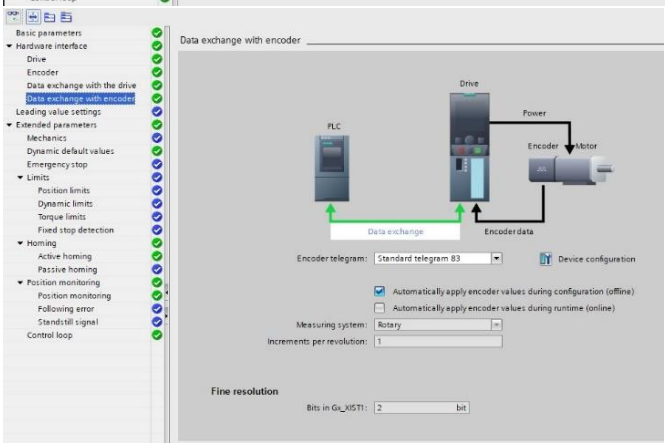

Commissioning Wizard
Summary
Please check the data entered and complete the configuration.
Application class
Setpoint specification
Defaults of the setpoi...
Drive setting
Drive options
Motor
Motor holding brake
Important parameters
Drive functions
Summary
The following drive data has been entered:
Motor:
Motor type selection: [1] Induction motor
Motor connection type: Star
Motor 87 Hz operation: No
Rated motor voltage: 400 Vrms
Rated motor current: 0.34 Arms
Rated motor power: 4.00 kW
Rated motor frequency: 50.00 Hz
Rated motor speed: 1464.0 rpm
Motor cooling type: [0] Natural ventilation
Motor temperature sensor type: [0] No sensor
Motor holding brake:
Motor holding brake configuration: [3] Motor holding brake like sequence control connection via BICO
Motor holding brake opening time: 100 ms
Motor holding brake closing time: 100 ms
Important parameters:
Reference speed: 1464.000 rpm
Maximum speed: 1464.000 rpm
Ramp-function generator ramp-up time: 0.200 s
Ramp-function generator ramp-down time: 0.200 s
OFF3 ramp-down time: 0.100 s
Current limit: 0.51 Arms
Drive functions:
Technological application (Dynamic Drive Control): [1] Dynamic starting or reversing
Motor data identification and rotating measurement: [0] Inhibited
<<Back
Next >>
Finish
Cancel
Commissioning Wizard
Summary
Please check the data entered and complete the configuration.
Application class
Setpoint specification
Defaults of the setpoi...
Drive setting
Drive options
Motor
Motor holding brake
Important parameters
Drive functions
Summary
The following drive data has been entered:
Application class:
Application class: [2] Dynamic Drive Control (DDC)
Setpoint specification:
Setpoint specified in the PLC and ramp function in the drive
Defaults of the setpoints/command sources:
Macro drive unit: [7] Fieldbus with data set changeover
Telegram configuration: [1] Standard telegram 1, PZD-2/2
Drive setting:
IEC/NEMA mot stds: [0] IEC-Motor (50 Hz, SI units)
Drive unit line supply voltage: 400 V
Drive options:
Braking resistor active: No
Drive filter type motor side: [0] No filter
Motor:
Motor type selection: [1] Induction motor
Motor connection type: Star
Motor 87 Hz operation: No
Rated motor voltage: 400 Vrms
Rated motor current: 0.34 Arms
Rated motor power: 4.00 kW
Rated motor frequency: 50.00 Hz
Rated motor speed: 1464.0 rpm
Motor cooling type: [0] Natural ventilation
Motor temperature sensor type: [0] No sensor
Motor holding brake:
<<Back
Next >>
Finish
Cancel

2) Konfigurace TO (Technology Objects)









3) Podprogram INICIALIZACE

1)

```
#re_start(CLK:= #b_start);
#re_reset(CLK := #b_reset);
IF #re_start.Q THEN
    #b_Robot_MotorsOn := 1;
    #b_Robot_MotorsOff := 0;
    #n_stateNum := #STATE_OV_ERORY;

END_IF;

CASE #n_stateNum OF
    #STATE_OV_ERORY:
        IF #n_Error = 0 THEN
            #n_stateNum := #STATE_OVERENI;
        ELSE
            #n_Error := 11;
            #b_Error_ResetError := 1;
            #n_stateNum := #STATE_ERROR;

        END_IF;

    #STATE_OVERENI:
        IF #b_Robot_RunChainOk THEN
            #n_stateNum := #STATE_INIT;
        ELSE
            #b_Error_runchain := 1;
            #n_Error := 1;
            #n_stateNum := #STATE_ERROR;
        END_IF;
```

2)

```
    #STATE_ERROR:

        IF #re_reset.Q AND #b_ErrorAknow THEN
            #n_Error := 0;
            #b_Error_ResetError := 0;
            #b_Error_NotAutoOn := 0;
            #b_Error_runchain := 0;
            #b_Error_NotCycleOn := 0;
            #b_RobotReadyToWork := 0;
            #n_stateNum := #STATE_OV_ERORY;
            #b_ErrorAknow := 0;
        END_IF;
        ;

    #STATE_INIT:
        IF #b_Robot_AutoOn THEN
            #n_stateNum := #STATE_MOTORS_ON;
        ELSE
            #n_Error := 2;
            #b_Error_NotAutoOn := 1;
            #n_stateNum := #STATE_ERROR;
        END_IF
        ;
```

3)

```
    #STATE_MOTORS_ON:
        #t_timer(IN := 1,
                 PT := T#2s);
        IF NOT #t_timer.Q THEN

            IF #b_Robot_MotorsOnState = 1 THEN
                #n_stateNum := #STATE_START_CYCLE;
            ELSE
                #b_Robot_MotorsOff := 0;
                #b_Robot_MotorsOn := 0;
                #b_Robot_MotorsOn := 1;
                #n_stateNum := #STATE_START_CYCLE;
            END_IF;
        ELSE
            #t_timer.IN := 0;
            #n_Error := 3;
            #b_Error_MotorsOn_offlimit := 1;
            #b_Robot_MotorsOn := 1;
            #b_Robot_MotorsOff := 0;
            #n_stateNum := #STATE_ERROR;
        END_IF;
        ;
```

4)

```
    #STATE_START_CYCLE:
        #t_timer(IN := 1,
                 PT := T#2s);
        IF NOT #t_timer.Q THEN

            IF #b_Robot_Cycle_ON THEN
                #n_stateNum := #STATE_ROBOT_READY;
                #t_timer.IN := 0;
            ELSE
                #n_Error := 4;
                #b_Error_NotCycleOn := 1;
                #b_Robot_MotorsOn := 0;
                #b_Robot_MotorsOff := 1;
                #n_stateNum := #STATE_ERROR;
                #t_timer.IN := 0;
            END_IF;
        END_IF;
        ;
```

5)

```
    #STATE_ROBOT_READY:
        IF #b_Robot_RunChainOk AND
            #b_Robot_AutoOn AND
            #b_Robot_Cycle_ON AND
            #b_Robot_MotorsOnState THEN

            #b_RobotReadyToWork  := 1;
            IF #re_reset.Q THEN

                #b_Robot_MotorsOn := 0;
                #b_Robot_MotorsOff:= 1;
                #n_stateNum := 1000;
                #b_RobotReadyToWork := 0;
            END_IF;
        ELSE
            #n_Error := 5;
            #n_stateNum := #STATE_ERROR;
            ;
        END_IF;

        ;
END_CASE;
```