



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Návrh a realizace laboratorní výrobní linky s třídící stanicí

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 3902T005 – Automatické řízení a inženýrská informatika
Autor práce: **Bc. Daniel Matocha**
Vedoucí práce: Ing. Martin Diblík, Ph.D.





Zadání diplomové práce

Návrh a realizace laboratorní výrobní linky s třídící stanicí

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel Matocha**
Osobní číslo: M19000167
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Automatické řízení a inženýrská informatika
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: 2020/2021

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s laboratorními modely výrobních stanic FESTO. Na základě získaných poznatků navrhnete jejich vhodnou kombinaci tak, aby vznikla modelová laboratorní výrobní linka obsahující separační stanici. Výrobní proces bude provádět třídění výrobků dle vhodných kritérií.
2. Navrženou výrobní linku sestavte, vhodně realizujte nezbytné mechanické, elektrické a komunikační propojení zvolených pracovišť tak, aby byla linka funkční.
3. Navrhnete a realizujete ovládací software využívající platformu automatizační techniky firmy BR-Automation. Výrobní linka by měla demonstrovat navržený výrobní proces, včetně možnosti manuálního ovládání. Realizujte systém detekce chyb, realizujte grafické ovládací rozhraní.
4. Pro výrobní linku vytvořte dokumentaci, podle které bude možné linku sestavit a uvést do provozu.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40–50 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] JOHN, Karl-Heinz a Michael TIEGELKAMP. IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, decision-making aids. Second edition. Berlin : New York: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-12014-5.
- [2] MARTINÁSKOVÁ, Marie, Ladislav ŠMEJKAL, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STROJNÍ FAKULTA. Řízení programovatelnými automaty. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-02925-1.
- [3] MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. Řízení programovatelnými automaty II. Praha: ČVUT, Strojní fakulta, 2000. ISBN 978-80-01-02096-8.
- [4] MARTINÁSKOVÁ, Marie, Ladislav ŠMEJKAL, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STROJNÍ FAKULTA. Řízení programovatelnými automaty III: softwarové vybavení. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 978-80-01-02804-9.

Vedoucí práce:

Ing. Martin Diblík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

9. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

16. května 2022

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

6. ledna 2022

Bc. Daniel Matocha

Návrh a realizace laboratorní výrobní linky s třídící stanicí

Abstrakt

Cílem diplomové práce bylo navržení a zprovoznění laboratorní výrobní linky s třídící stanicí od firmy FESTO. Začátek práce je věnován hardwarovému a softwarovému vybavení stanic. Hlavní část práce se zabývá principem a realizací komunikačního propojení stanic. Komunikace mezi stanicemi je realizována podle vhodně zvoleného řídicího algoritmu. Ovládací software byl vytvořen pro platformu automatizační techniky firmy B&R Automation. Program demonstruje typický pracovní cyklus výrobní linky. Součástí programu je grafické ovládací rozhraní, které umožňuje diagnostiku a manuální ovládání stanice. Výsledkem práce je dokumentace výrobní linky, která popisuje sestavení a uvedení do provozu.

Klíčová slova: Festo, modulární výrobní systém, výrobní linka, distribuční stanice, měřicí stanice, třídící stanice, B&R-Automation, PLC, řídicí automat, Powerlink

Design and realisation of laboratory production line with separation station

Abstract

The thesis deals with the acquaintance and commissioning of a laboratory production line with a sorting station from the FESTO company. The beginning of the work is devoted to the hardware and software equipment of the stations. The central part of the project deals with the principle and implementation of stations connectivity to each other. Communication between stations is realized according to a suitably selected control algorithm. The control software was created for the B&R Automation technology platform. The program shows the typical duty cycle of the production line. The program includes a graphical control interface that allows diagnostics and manual control of the station. The result of the thesis is the documentation of the production line, which describes the assembly and commissioning.

Keywords: Festo, The modular production system, production line, distributing station, measuring station, sorting station, B&R-Automation, PLC, programmable controller, Powerlink

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Martinu Diblíkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, ochotu a odborné vedení při vypracování této diplomové práce.

Nakonec bych rád poděkoval své rodině a blízkým přátelům za trpělivost a projevenou podporu po dobu mého studia.

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
Seznam zkratk	10
1 Úvod	11
2 Hardwarové vybavení	12
2.1 Festo MPS	12
2.1.1 Stanice	12
2.1.2 Dopravníkový modul	13
2.1.3 Ovládací panel	14
2.2 Distribuční stanice	15
2.2.1 Zásobníkový modul	15
2.3 Měřicí stanice	16
2.3.1 Otočný/zdvihací modul	16
2.3.2 Měřicí modul	16
2.3.3 Skluzný žlab	16
2.4 Třídící stanice	18
2.4.1 Detekční modul	18
2.4.2 Skluzný žlab	18
2.5 Řídicí systém	20
2.5.1 Programovatelný automat - B&R X20CP0484	20
2.5.2 Napájecí modul - B&R X20PS9600	20
2.5.3 Sběrníkový modul - B&R X20BB67	21
2.5.4 Rozšiřující karty	21
2.6 Napájení	22
2.7 Switch	22
3 Programové vybavení	23
3.1 Automation Studio	23
3.1.1 Programovací jazyky	23
3.1.2 Diagnostické nástroje	23
3.1.3 Struktura prostředí	24
3.2 VNC Viewer	24

4	Komunikační propojení výrobní linky	26
4.1	Centrální řídicí systém	26
4.2	Distribuovaný řídicí systém	27
4.3	Diskrétní vstupní a výstupní signály	28
4.4	Datové komunikační sběrnice	29
4.4.1	Ethernet TCP/IP	29
4.4.2	Ethernet Powerlink	30
5	Program	32
5.1	Propojení stanic	32
5.1.1	Propojení diskretními vstupy a výstupy	32
5.1.2	Propojení pomocí Powerlinku	33
5.2	Struktura programu	34
5.3	Vzorový program	37
5.3.1	Inicializační sekvence programu	37
5.3.2	Ukončovací sekvence programu	37
5.3.3	Distribuční stanice	39
5.3.4	Měřicí stanice	41
5.3.5	Třídící stanice	43
5.3.6	Výrobní linka	45
5.4	Vizualizace a ovládání	46
5.4.1	Vzorový program a automatický režim	47
5.4.2	Diagnostika a manuální režim	48
6	Shrnutí realizace výrobní linky	50
7	Závěr	52
	Použitá literatura	53
	Přílohy	56
A	Přiložený soubor s programem	56
B	Tabulky zapojení logických signálů	57
C	Návod k výrobní lince	61

Seznam obrázků

2.1	Výrobní linka Festo MPS	13
2.2	Řídicí panel s digitálními vstupy a výstupy	14
2.3	Model Festo distribuční stanice; zdroj [18]	15
2.4	Sada obrobků; zdroj [14]	16
2.5	Model Festo měřicí stanice; zdroj [19]	17
2.6	Model Festo třídící stanice; zdroj [20]	19
2.7	Automat X20CP0484 s napájecím modulem X20PS9600; zdroj [5]	20
2.8	Řazení rozšiřujících karet PLC	21
3.1	Prostředí VNC Viewer	24
3.2	Struktura prostředí Automation Studio; zdroj [26]	25
4.1	Struktura centralizovaného řídicího systému	26
4.2	Struktura distribuovaného řídicího systému	27
4.3	Liniová topologie komunikace diskretními signály	28
5.1	Propojení pomocí diskretních signálů na ovládacím panelu; zdroj [24]	33
5.2	Propojení pomocí Powerlinku	33
5.3	Struktura proměnné pro stanice	34
5.4	Struktura proměnné pro ovládací panel	36
5.5	Diagram inicializační sekvence programu	38
5.6	Diagram ukončovací sekvence programu	38
5.7	Schéma hlavních proměnných distribuční stanice	39
5.8	Diagram pracovního cyklu distribuční stanice	40
5.9	Schéma hlavních proměnných měřicí stanice	41
5.10	Diagram pracovního cyklu měřicí stanice	42
5.11	Schéma hlavních proměnných třídící stanice	43
5.12	Diagram pracovního cyklu třídící stanice	44
5.13	Vizualizace úvodní obrazovky	46
5.14	Vizualizace vzorového programu	47
5.15	Vizualizace manuálního módu	48
5.16	Vizualizace ovládacího panelu	49

Seznam tabulek

4.1	Přiřazení protokolů do sedmivrstvého komunikačního modelu ISO/OSI; zdroj [4][21]	31
5.1	Hlavní proměnné distribuční stanice	35
5.2	Hlavní proměnné měřicí stanice	35
5.3	Hlavní proměnné třídící stanice	36

Seznam zkratk

HMI	Human-machine interface
PLC	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
ST	Structured Text (Strukturovaný text)
HW	Hardware
SW	Software
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
RAM	Random Access Memory
VNC	Virtual Network Computing
IP	Internet Protocol
MPS	The modular production system (Modulární výrobní systém)
DC	Direct current (Stejnoseměrný proud)
I/O	Input/Output (Vstup/Výstup)
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
MN	Managing Node
iCN	Intelligent Controlled Node
ID	Identifier (Identifikátor)
TP	Pulse Timer (impulzní časovač)

1 Úvod

Cílem Festo Didactic je maximalizovat potenciál učení ve školách, školicích střediscích, a trvale rozvíjet dovednosti v oblasti automatizační techniky. Pro předmět Programovatelné automaty (PRA) na nově otevřeném bakalářském oboru Mechatronika bylo pořízeno několik stanic Festo MPS. K zařazení stanic do výuky bylo nejprve nutné se s jednotlivými stanicemi seznámit a následně je kompletně připravit pro studenty.

Festo umožňuje pořídit stanici s již nainstalovaným řešením řídicího systému nebo nabízí variantu bez řídicího systému. Z důvodu dlouhodobé spolupráce TUL s firmou B&R-Automation byly stanice vybaveny řídicím systémem od tohoto výrobce. Firma B&R-Automation dodala PLC společně s digitálními a analogovými moduly. Následné zapojení jednotlivých stanic se realizovalo podle dodané dokumentace.

V rámci diplomové práce byla navržena kombinace tří stanic, které na sebe vhodně navazují a jsou zakončeny výrobním procesem třídění výrobků. Jednotlivé stanice byly následně oživeny a připraveny pro návrh programu, který bude demonstrovat typický pracovní cyklus výrobní linky v automatickém režimu. Nakonec bylo nutné vhodně zvolit a realizovat komunikační propojení mezi pracovišti. Zde se nabízely dvě varianty možného řešení, a to přes diskrétní vstupní a výstupní signály nebo pomocí datové komunikační sběrnici.

K otestování funkcionality dílčích komponent a ovládání stanice byla vytvořena jednoduchá vizualizace. Grafické rozhraní informuje o stavu stanice a umožňuje manuální ovládání. Výsledný ovládací software slouží jako vzorová ukázka pracovního cyklu a zároveň jako diagnostický nástroj stanice pro studenty. Pro tuto úlohu byla vytvořena dokumentace, podle které bude možné linku sestavit a uvést do provozu.

2 Hardwarové vybavení

2.1 Festo MPS

Festo MPS neboli modulární výrobní systém byl navržen pro všechny, kteří oceňují nezávislé a průmyslově orientované vzdělávání. Slouží tedy převážně pro školení v oboru mechatroniky a automatizační techniky. Systém nabízí kompaktní modulární školící prostředí, které umožňuje kombinovat stanice, moduly a příslušenství za účelem vytvoření výrobní linky přizpůsobené konkrétním cílům výuky.

Stanice MPS jsou založeny na modulech a představují nejběžnější dílčí procesy každého automatizovaného výrobního systému. Tato vlastnost umožňuje nastavit různé výukové scénáře v jediném modulu pomocí dalších komponent.

Všechny stanice pracují s takzvaným obrobkem, který představuje nádobu ve tvaru puku. Nádoba je vyrobena z plastu a vyskytuje se ve čtyřech provedeních, která mohou být uzavřena černým víčkem. Plášť může být průhledný, černý, červený nebo pokovený. Průměr nádoby je 40 mm a výška 25 mm. Sadu obrobků zobrazuje Obrázek 2.4 na straně 16.

Dvě stanice stačí k tomu, aby představovaly jednoduchý a průmyslově relevantní proces pro základní automatizační technologii. Distribuční stanice a třídící stanice demonstrují základní funkce automatizované výroby, kde probíhá podávání, oddělování, identifikace a třídění. K dosažení komplexního výrobního procesu linky je vhodné využít alespoň tři stanice. Jedna z mnoha možností je mezi distribuční a třídící stanicí umístit měřicí stanici. Ta představuje funkci manipulace a měření výrobku. Konfigurace stanic je zobrazena na Obrázku 2.1 na straně 13 a v následujících stránkách bude blíže představena. Veškeré informace jsou čerpány z oficiálních stránek firmy Festo (viz literatura [12]).

2.1.1 Stanice

Jednotlivé stanice jsou namontovány na pojízdném pracovním vozíku, který zajišťuje jednodušší manipulaci s pracovištěm. Na vrchní části se nachází drážkovaná montážní deska, do které se uchycují moduly a příslušenství pro danou úlohu stanice (viz Obrázek 2.1). Pod montážní deskou se nachází ovládací panel a uvnitř vozíku je umístěn řídicí systém, svorkovnicový modul a jištění.



Obrázek 2.1: Výrobní linka Festo MPS

2.1.2 Dopravníkový modul

Všechny tři stanice obsahují dopravníkový modul s různým příslušenstvím, který se používá pro přepravu a vyrovnání obrobků. Jedná se tedy o typický výrobní proces představující pásovou výrobu. Dopravní pás pohání stejnosměrný motor, který je napájen 24V DC a umožňuje ovládat chod dopravníku oběma směry.

Modul umožňuje instalaci příslušenství, které je specifické pro danou úlohu stanice. Na začátku dopravníku se obvykle nachází optický snímač přiblížení detekující přítomnost obrobku před dopravníkem. Stejně tak se snímač vyskytuje na konci dopravníku, kde detekuje obrobek na konci pásu. Jestliže obrobek nebude navazovat na další výrobní proces, neboť se jedná o konečnou stanici, tak se dopravník zakončí mechanickou zarážkou.

Mezi další příslušenství patří pneumatický blokovací systém, který zachytí obrobek v daném místě pro další operace. Stejnou funkci vykonává i separátor, který je spínán pomocí elektromagnetu (solenoidu). Koncové polohy jsou monitorovány indukčními přibližovacími senzory. Před blokovacími systémy se nachází snímač přítomnosti obrobku.

Poslední příslušenství, které se nachází v dané úloze na dopravníkovém modulu je deflektor. Jeho úkolem je shodit obrobek do žlabu. Deflektor je spínán elektromagnetem a koncové polohy jsou snímány indukčním senzorem.

2.1.3 Ovládací panel

Panel se nachází pod montážní deskou a slouží k ovládání stanice. Poskytuje jednodušší obsluhu pracoviště a rozšíření o další moduly jako je například tlačítko nouzového zastavení nebo kontrolky signalizující stav stanice. Další možnosti rozšíření jsou zobrazeny v dokumentech na webových stránkách informačního portálu firmy Festo (viz literatura [13]). Rozložení a vzhled základního ovládacího panelu je zobrazen na Obrázku 2.2.

Na levé i pravé straně se nachází 5 standardních 4 mm měřicích zdírek společně s indikačními LED a I/O konektorem. Slouží jako dva vstupní a dva výstupní signály z PLC. Poslední modrý konektor slouží k propojení společného potenciálu (GND). Konektory lze využít k výměně signálů mezi stanicemi, čímž dojde k přenesení informace. Jedná se tedy o jedno z možných řešení pro propojení více stanic dohromady a vytvoření výrobní linky.

V levé části se nachází ovládací membránová tlačítka s indikační LED Start, Stop a Reset. Otočný klíček slouží k přepínání mezi automatickým a manuálním režimem. Jako poslední jsou zde dvě kontrolky, na které lze libovolně přiřadit signál z PLC. Ty mohou signalizovat stav stanice nebo například plný skluzný žlab obrobků.



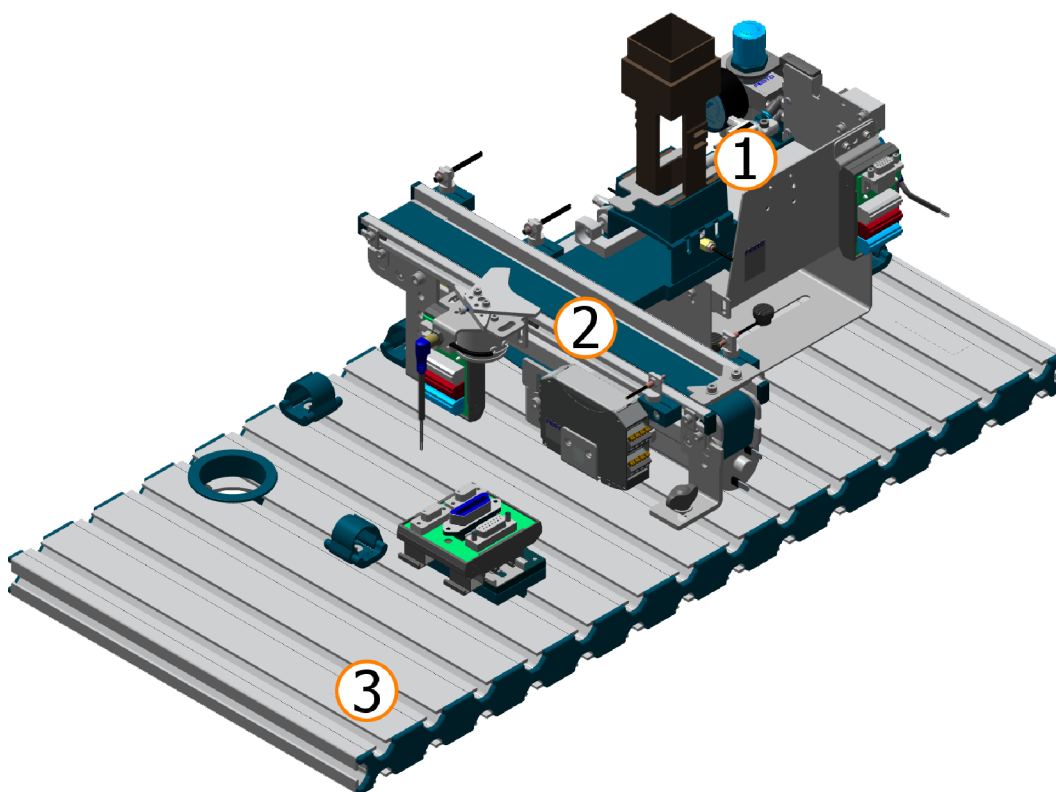
Obrázek 2.2: Řídicí panel s digitálními vstupy a výstupy

2.2 Distribuční stanice

Distribuční neboli dopravní stanice slouží jako zásobník polotovarů. Umístěna je na začátku celého výrobního procesu linky. Pomocí dvojčinného válce vysunuje obrobky jeden po druhém na dopravní pás, kde obrobek doručí doprava nebo doleva. V případě potřeby lze obrobek zastavit a oddělit separátorem na dopravníku. Manuál a schéma zapojení se nachází na informačním portálu firmy Festo (viz literatura [7], [15], [18]). Model distribuční stanice zachycuje Obrázek 2.3.

2.2.1 Zásobníkový modul

Modul stohovacího zásobníku obsahuje zásobu polotovarů, které jsou pneumatickým dvojčinným válcem zespoda po jednom vysouvány na dopravník. Rychlost, s jakou se válec vysouvá a zasouvá, lze plynule nastavit pomocí jednosměrných ventilů pro regulaci průtoku vzduchu. Poloha válce je detekována indukčními snímači a přítomnost obrobku v zásobníku detekuje optický snímač polohy.



Obrázek 2.3: Model Festo distribuční stanice; zdroj [18]

Legenda

1. Zásobníkový modul
2. Dopravníkový modul
3. Montážní deska

2.3 Měřicí stanice

Stanice umožňuje odebírat obrobky z dopravního pásu k určení jejich výšky a následnému roztřídění. Manipulační modul zvedne obrobek a položí ho na měřicí stůl, kde se nachází snímač vzdálenosti. Po naměřené výšce následně dojde k přemístění obrobku na dopravník. V závislosti na výsledku měření je obrobek vyřazen separátorem do skluzného žlabu, nebo dopravován dál na konec dopravníku. Manuál a schéma zapojení se nachází na informačním portálu firmy Festo (viz literatura [8], [16], [19]). Model měřicí stanice zachycuje na Obrázek 2.5 na straně 17.

2.3.1 Otočný/zdvihací modul

Otočný/zdvihací modul je dvouosá manipulační jednotka pro malé zvedací a otočné úkoly. Na konci jednotky je nainstalován paralelní dvoučelistový uchopovač, který zvládne uchopit obrobek o průměru 40 mm. Obrobky zobrazuje Obrázek 2.4. Pozici uchopení a úhel otáčení lze nastavit. Všechny akční členy manipulační jednotky pohání pneumatický pohon a na koncích je snímána poloha.

2.3.2 Měřicí modul

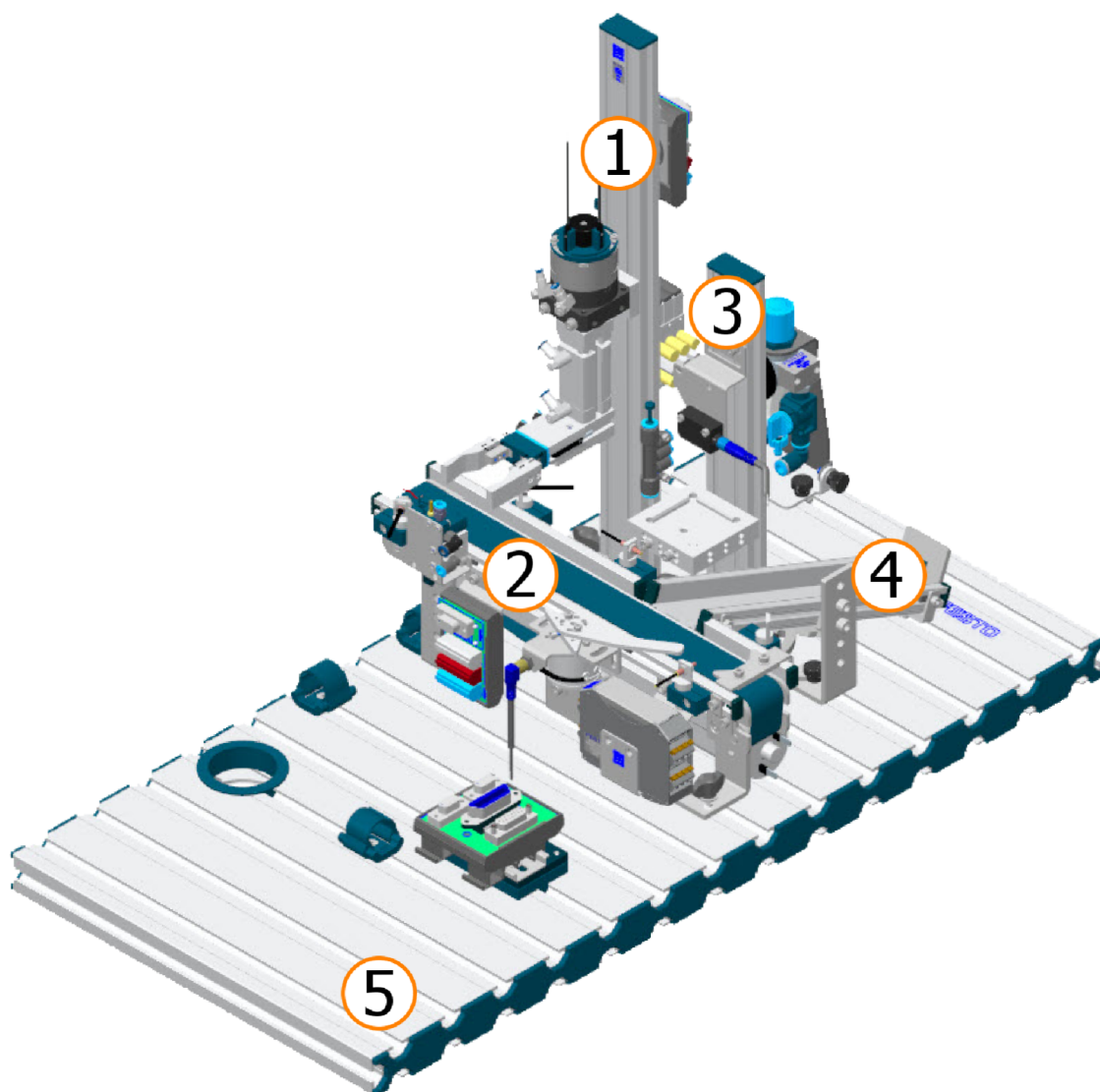
Nad měřicím stolem se nachází analogový optoelektronický snímač vzdálenosti (viz literatura [11]). Senzor pracuje v provozním rozsahu 44 mm až 84 mm s přesností 0,02 mm. Analogový výstup je 0 V až 10 V. Konstrukce měřicího modulu umožňuje výškově nastavit senzor do správné polohy.

2.3.3 Skluzný žlab

Podle vhodně zvoleného kritéria výšky se obrobek vyřadí do skluzného žlabu. Oddělení provádí separátor, který je spínán elektromagnetem. Vyřazený obrobek snímá stejný senzor, který se nachází na konci dopravníkového modulu. Na konci skluzného žlabu se nachází mechanická zarážka, která omezuje kapacitu na 6 obrobků.



Obrázek 2.4: Sada obrobků; zdroj [14]



Obrázek 2.5: Model Festo měřicí stanice; zdroj [19]

Legenda

1. Otočný/zdvihací (manipulační) modul
2. Dopravníkový modul
3. Měřicí modul
4. Skluzný žlab
5. Montážní deska

2.4 Třídící stanice

Pracoviště je umístěno na konci celého výrobního procesu a má za úkol třídit obrobky podle materiálu a barvy. V tomto případě obrobek představuje červené, černé a kovové polotovary. V závislosti na barvě a materiálu jsou nastaveny různé deflektory umožňující přesunutí puku do správného skluzného žlabu. Obrobky se musí pohybovat jednotlivě, aby nezasahovaly do spínacích operací deflektorů.

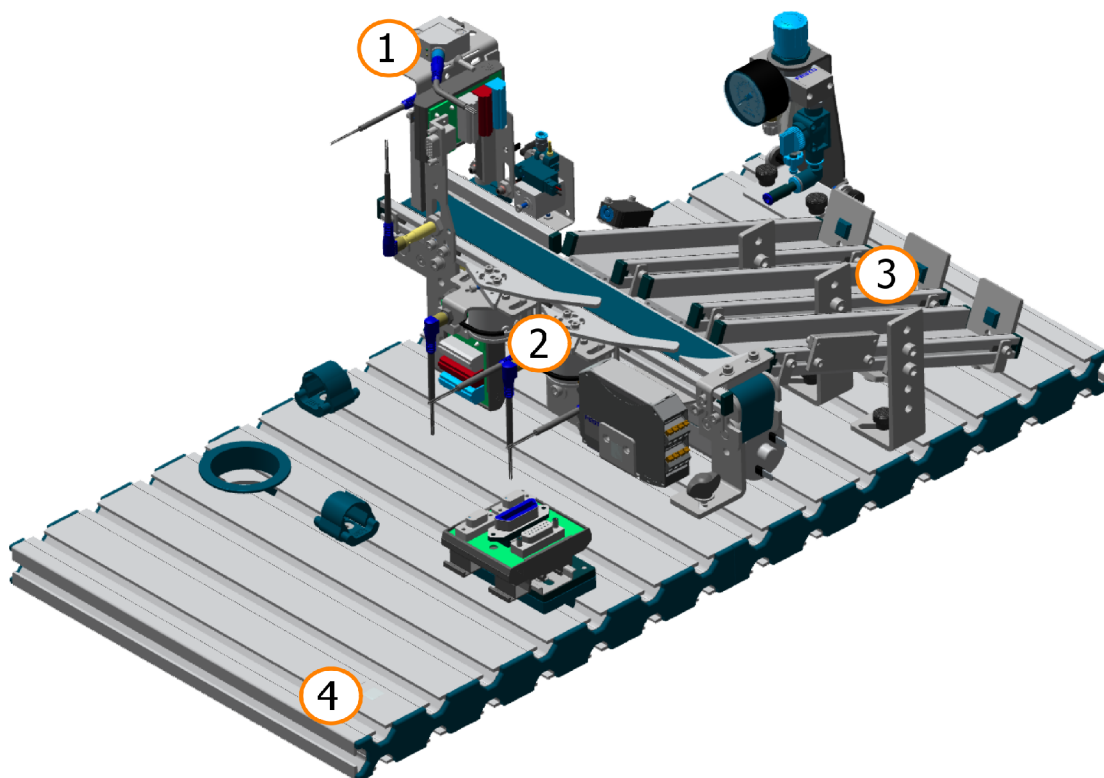
Manuál a schéma zapojení se nachází na informačním portálu firmy Festo (viz literatura [9], [17], [20]). Následující odstavce popisují jednotlivé moduly třídící stanice, které jsou zobrazeny na Obrázku 2.6 na straně 19.

2.4.1 Detekční modul

Detekční modul je namontován na začátku dopravníkového modulu. Materiál nebo barvu obrobků zjišťuje pomocí 3 bezdotykových snímačů s digitálním výstupem. Používá se jeden indukční senzor přiblížení a dva optické senzory přiblížení. Indukční snímač přiblížení detekuje kovový obrobek. Optoelektronický senzor detekuje červené a kovové obrobky. Vidlicová světelná závora detekuje všechny obrobky.

2.4.2 Skluzný žlab

Ve třídící stanici jsou tři skluzné žlaby, které slouží k uložení obrobků. Modul má díky variabilitě možnost nastavení výšky a sklonu. Na každém konci skluzného žlabu se nachází namontovaná mechanická zarážka, která omezuje skladování na 5 obrobků. Po odstranění mechanických zarážek lze skluzný žlab také používat k přepravě obrobků. Všechny tři žlaby hlídá reflexní optický snímač monitorující úroveň naplnění.



Obrázek 2.6: Model Festo třídící stanice; zdroj [20]

Legenda

1. Detekční modul
2. Dopravníkový modul
3. Skluzný žlab
4. Montážní deska

2.5 Řídicí systém

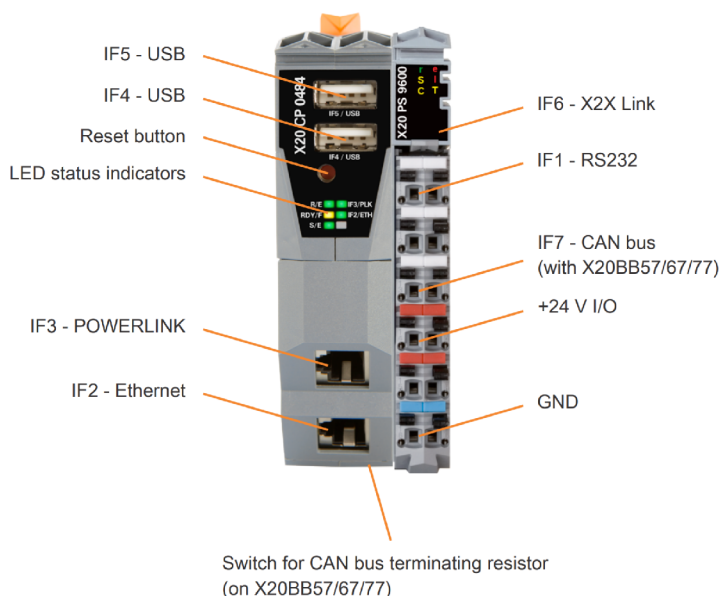
Všechny produktové řady řídicích systémů společnosti B&R-Automation používají společnou softwarovou platformu Automation Runtime. Jedná se o deterministický operační systém v reálném čase, který umožňuje vytvořit program nezávisle na hardwarové konfiguraci. Tato vlastnost poskytuje jednoduchý přechod na jinou produktovou řadu programovatelných automatů s tímto operačním systémem.

2.5.1 Programovatelný automat - B&R X20CP0484

Pro laboratorní úlohy Festo byl zvolen kompaktní model X20CP0484 z řady systémů X20 Compact-S. Tento model disponuje výkonným procesorem ARM Cortex A9 s frekvencí 667 MHz, pamětí RAM o velikosti 256 MB a 2 GB flash paměti pro nahrané programy. Na samotné řídicí jednotce se nachází dva USB porty, Ethernet 10/100 Mb/s a POWERLINK (viz Obrázek 2.7). Pro diagnostiku jsou na přední straně stavové LED, které signalizují napájení, mód a funkci CPU, komunikaci POWERLINK a Ethernetu.

2.5.2 Napájecí modul - B&R X20PS9600

Do napájecího modulu je přivedeno 24V DC z externího zdroje napětí. Tento modul napájí samotný programovatelný automat a X2X linku, která distribuuje napájení a komunikaci mezi jednotlivými přídatnými moduly. Díky technologii X2X link se moduly nemusí mezi sebou propojovat vodiči. Na kartě se nachází svorkovnice pro připojení sběrnice CAN a RS232 (viz Obrázek 2.7). V horní části se opět nachází LED s indikací stavů.



Obrázek 2.7: Automat X20CP0484 s napájecím modulem X20PS9600; zdroj [5]

2.5.3 Sběrnice modul - B&R X20BB67

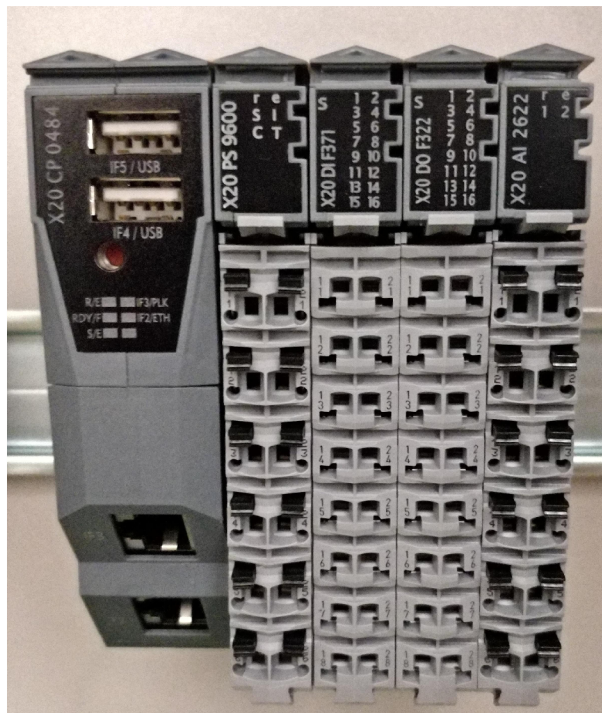
Do sběrnice X20BB67 je usazen programovatelný automat společně s napájecím modulem. Sběrnici je možné rozšířit o další pozice a slouží jako distributor napájení a komunikace pro přídavné karty pomocí technologie X2X link.

2.5.4 Rozšiřující karty

Ve všech třech laboratorních úlohách jsou nainstalovány stejné konfigurace rozšiřujících karet. Konfigurace obsahuje karty 2 analogových vstupů, 16 digitálních vstupů a 16 digitálních výstupů. Řazení rozšiřujících karet je zobrazeno na Obrázku 2.8.

Seznam instalovaných rozšiřujících karet

- 1× Karta digitálních vstupů - B&R X20DIF371 [1]
- 1× Karta digitálních výstupů - B&R X20DOF322 [2]
- 1× Karta analogových vstupů - B&R X20AI2622 [3]



Obrázek 2.8: Řazení rozšiřujících karet PLC

2.6 Napájení

O napájení PLC se stará jednoduchý spínaný zdroj od firmy PHOENIX CONTACT. Jednofázový vstup zvládne v rozsahu napětí 85 V až 264 V na výstup přivést 24 V DC s maximálním proudem 6,25 A. Maximální výstupní výkon, odebíraný ze zdroje, tedy dosahuje 150 W. Zdroj díky vysokému stupni účinnosti a nízkým ztrátám při chodu na prázdko dosahuje vysoké energetické účinnosti. Konstrukce je uzpůsobena pro montáž na DIN lištu a vzhledem k malým rozměrům se jedná o ideální řešení v kompaktních rozvaděčích.

2.7 Switch

Pro využití ethernetové nebo Powerlink komunikační sběrnice mezi jednotlivými řídicími systémy stanic byl použitý síťový přepínač neboli switch. Slouží k propojení řídicích systémů do hvězdicové topologie.

Pro komunikaci přes Powerlink je vhodnější využít rozdělovač (hub), který minimalizuje zpoždění komunikace a zvyšuje tak výkon s ohledem na dobu běhu cyklu. V laboratorním prostředí k demonstrativním účelům komunikace po sběrnici je síťový přepínač dostupný a dostačující řešení.

3 Programové vybavení

3.1 Automation Studio

Automation Studio je vývojové prostředí projektů, které podporuje operační systém Microsoft Windows. Používá se pro produkty společnosti Bernecker & Rainer, mezi které patří odvětví řízení, HMI vizualizace, řízení pohonů a komunikace. Všechny tyto odvětví lze konfigurovat v jednom prostředí v jediném projektu. Uživatelé si mohou vybrat ze široké škály programovacích jazyků, diagnostických nástrojů a editorů.

3.1.1 Programovací jazyky

Vývojové prostředí podporuje základní programovací režimy standardu normy IEC 61131-3. Tato norma zahrnuje dva textové a tři grafické programovací jazyky. Automation Studio navíc umožňuje využít další programovací jazyky jako je C++, Continuous Function Chart (CFC) a Automation Basic (AB) vyvinutý společností B&R-Automation.

Program se dělí na tři části. Inicializační část, která se provede pouze při prvním spuštění nebo restartu programu. Cyklická část se spustí po dokončení inicializace a vykonává se cyklicky po přesně daném časovém intervalu. Ukončovací část se vyvolá pouze při odstraňování programu.

3.1.2 Diagnostické nástroje

Mezi nejužitečnější funkce Automation Studia patří simulace, která umožňuje snadné testování programů. Simulace probíhá ve virtualizovaném prostředí Automation Runtime, které neprobíhá v reálném čase, ale odpovídá funkčnosti skutečných systémů.

Druhým nejužitečnějším diagnostickým nástrojem je režim Watch a Monitor. Tyto režimy zobrazují aktuální hodnotu vybraných proměnných, jejich typ a umístění v projektu. V editačním okně umožňují změnu hodnoty za běhu systému.

Debugger je důležitý nástroj pro programátory, který usnadňuje hledání chyb ve zdrojovém kódu. Při kompilaci projektu informuje o nalezených chybách v okně zpráv, kde se zobrazí konkrétní řádek s chybou a popisem.

3.1.3 Struktura prostředí

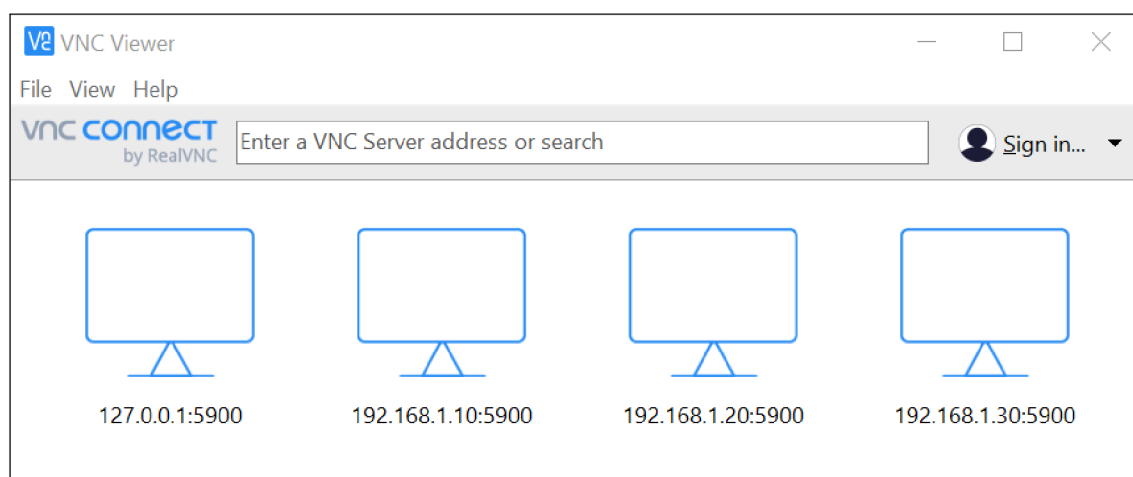
Prostředí se skládá z několika dílčích částí (viz Obrázek 3.2 na straně 25). V horní části se nachází panel s obsluhou programu a nástroji.

Na levé straně je umístěn průzkumník projektu, který se používá pro správu objektů v projektu. Uprostřed se nachází pracovní prostor například pro editor kódu, vytváření vizualizace, konfigurace HW a další. V pravé části je panel s objekty, pomocí kterého se do projektu přidávají funkce do programu, hardwarové moduly nebo softwarové objekty.

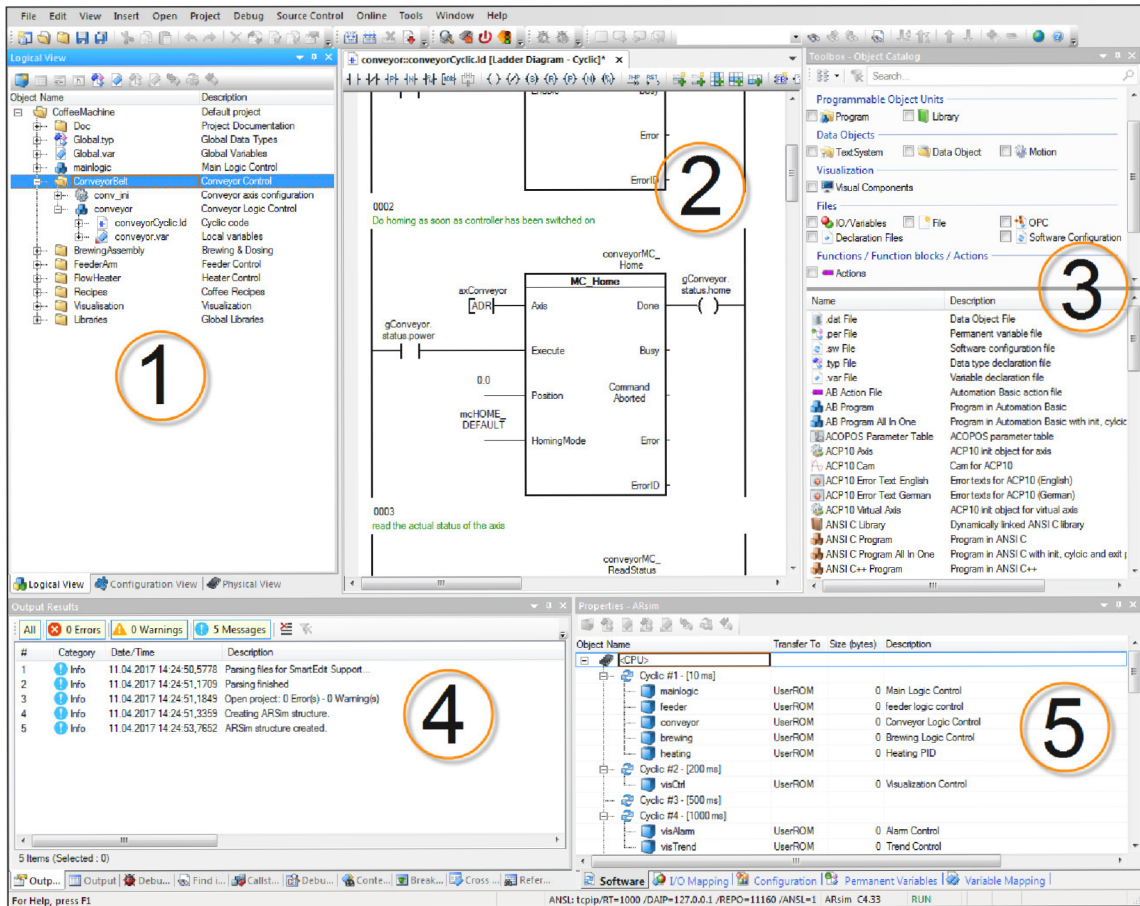
Okno zpráv zaujímá pozici v levé dolní části, kde se zobrazují informace o stavu sestavování projektu a jeho případných chybách a varování. Možnosti konfigurace pro aktuálně vybraný objekt nebo hardwarový modul se zobrazuje vpravo dole. Celý spodní okraj informuje o stavu a typu komunikace s daným typem PLC, případně o stavu Simulace.

3.2 VNC Viewer

K testování vizualizace HMI panelu je nutný program VNC Viewer. Jedná se o nástroj pro vzdálený přístup ke grafickému uživatelskému rozhraní PLC a jiných počítačů. VNC pracuje jako klient-server, kde server vytváří grafické prostředí a komunikuje přes síť s klientem, který prostředí zobrazuje uživateli. Pro připojení na VNC server je potřeba zadat pouze IP adresu (viz Obrázek 3.1).



Obrázek 3.1: Prostředí VNC Viewer



Obrázek 3.2: Struktura prostředí Automation Studio; zdroj [26]

Legenda

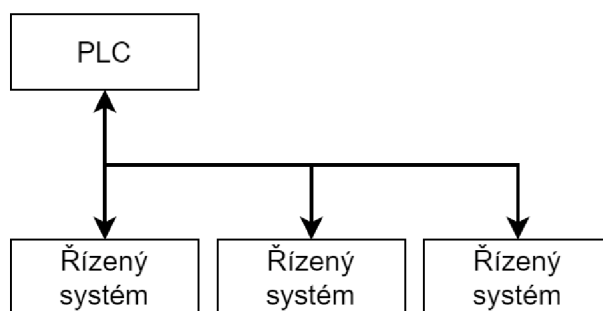
1. Průzkumník projektu
2. Pracovní prostor
3. Panel s objekty (Toolbox)
4. Okno zpráv
5. Okno vlastností

4 Komunikační propojení výrobní linky

Laboratorní výrobní linka vznikne spojením dvou a více pracovišť dohromady. Tím vznikne komplexní systém. Struktura řídicího algoritmu linky může být realizována několika různými způsoby a lze je zjednodušeně rozdělit na dvě hlavní struktury (viz literatura [22], [25]).

4.1 Centrální řídicí systém

První způsob řízení výrobní linky je centrální řídicí systém, který se vyznačuje jedním, dostatečně výkonným, PLC zajišťujícím všechny řídicí aktivity celé linky. Aby se zamezilo rozsáhlé kabeláži pro přivedení technologických signálů na jedno místo, řídicí systém B&R-Automation (viz kapitola 2.5) poskytuje sběrnici X2X Link. Tato sběrnice umožňuje vysokorychlostní komunikaci pouze jedním kabelem mezi I/O moduly a PLC. Jedná se o vhodné a efektivní řešení pro málo složité procesy. Větší a náročnější procesy jsou omezeny výkonem PLC a maximálním dovoleným počtem modulů. Při návrhu pouze jednoho programu se nemusí řešit žádná komunikační struktura. Program se tímto stane ucelenější a velmi snadný pro údržbu, ale v případě rozsáhlých systémů vede logicky i k rozsáhlému řídicímu algoritmu. Jakákoliv porucha, nebo chyba v programu, může vést k havárii celého systému. Blokovou strukturu systému zobrazuje Obrázek 4.1.

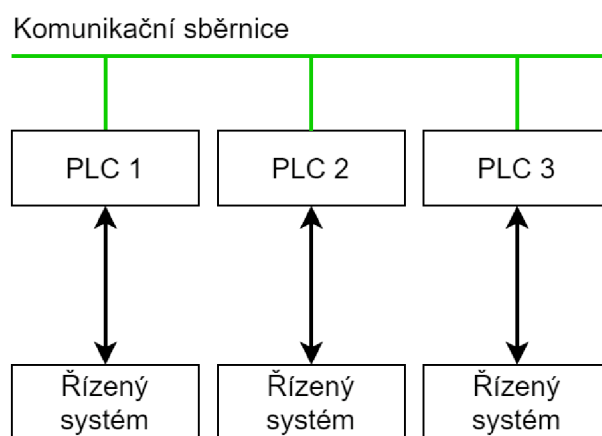


Obrázek 4.1: Struktura centralizovaného řídicího systému

4.2 Distribuovaný řídicí systém

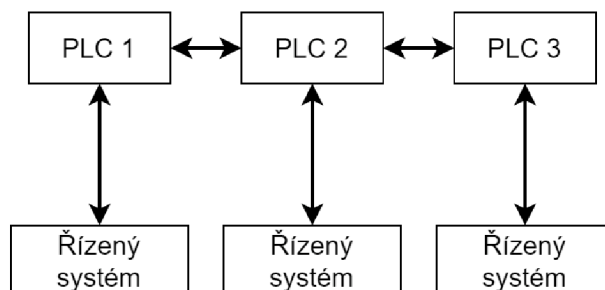
Druhá struktura řídicího algoritmu linky je distribuovaný řídicí systém. Každá ucelená část výrobního systému je řízena svým vlastním PLC. Základním předpokladem takového řešení je vhodný způsob vzájemné komunikace jednotlivých řídicích systémů mezi sebou. Jedná se o výkonné řešení pro výstavbu složitých a rozsáhlých systémů, které lze rozšiřovat o další zařízení na komunikační sběrnici. Tento přístup se začal v automatizaci nasazovat společně s nově vznikajícími výkonnými sběrnici a s klesající cenou zařízení s procesorem. Přestože zařízení s integrovaným procesorem jsou cenově dostupné, tak se může stát pořizovací cena jednou z nevýhod. Návrh algoritmu řízení celé linky se rozděluje mezi několik PLC a musí tomu být uzpůsobena struktura tak, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování dílčích procesů. Tímto rozdělením dochází k jednoduššímu ladění programu po částech. Blokovou strukturu systému zobrazuje Obrázek 4.2.

Ke správné funkčnosti distribuovaného systému musí být zvolen princip přístupové metody. Jakmile je na sběrnici připojeno více zařízení, tak stanovuje pravidla, kdo má kdy vysílat. Přístupová metoda je tedy definice pravidel, které udávají oprávnění vysílat zprávu. Volba metody závisí na typu sběrnice a protokolu. Mezi nejvýznamnější přístupové principy patří metoda komunikace Master/Slave. Master má oprávnění vyslat zprávu kdykoliv, ale Slave vyšle zprávu pouze tehdy, když je k tomu vyzván Masterem. Veškerý přenos dat mezi jednotlivými zařízeními typu Slave tedy zajišťuje Master. Ten může být nainstalován jako samostatné zařízení, které je nadřazené celému systému, nebo může být součástí řídicího systému, kdy zároveň ovládá svou část systému.



Obrázek 4.2: Struktura distribuovaného řídicího systému

Modifikací distribuovaného řídicího systému lze vytvořit komunikaci mezi řídicími systémy pomocí diskretních signálů. Jedná se o liniovou topologii komunikace, kdy výstupní signál z jednoho procesu spustí následující proces. Blokovou strukturu systému zobrazuje Obrázek 4.3. Takováto komunikace je snadná na realizaci, ale může být náchylná na chyby, které narušují navazující proces linky.



Obrázek 4.3: Liniová topologie komunikace diskretními signály

Vzhledem k modulárnosti pracovišť a možnosti sestavení téměř libovolné výrobní linky z různých stanic se stává vhodnější strukturou řídicího algoritmu distribuovaný řídicí systém. Takovéto řešení nemá pro tyto úlohy téměř žádné omezení a umožňuje libovolnou vhodnou konfiguraci stanic. Proto je nutné zajistit datové komunikační propojení stanic mezi sebou společně s vhodnou programovou strukturou proměnných. Jako první se nabízí využití vstupních a výstupních diskretních signálů z digitálních karet PLC. Dalším možným řešením je využití datové komunikační sběrnice. Tato varianta komunikace závisí na nainstalovaném řídicím systému a jeho výbavě.

4.3 Diskretní vstupní a výstupní signály

Použití diskretních vstupních a výstupních signálů z ovládacího panelu na čele stanice je nejjednodušším řešením datového propojení pracovišť. Bližší popis panelu se nachází v kapitole 2.1.3 Ovládací panel. Jednotlivé konektory jsou připojeny na digitální karty PLC. Propojení mezi stanicemi se realizuje pomocí vodičů. Z konektoru výstupního signálu stanice vede propojovací kabel do konektoru vstupního signálu druhé stanice. Jedná se tedy o uživatelsky jednoduchou realizaci propojení, kdy obsluha vidí jednotlivé datové spoje společně s LED signalizací stavu.

Řešení zajišťuje výměnu maximálně dvou diskretních signálů mezi stanicemi. V případě jednoduché výrobní linky nedochází k žádnému omezení a je vyhovující k realizaci datového propojení stanic. V určitých případech se může narazit na limity tohoto řešení. V takovém případě je vhodnější zvolit variantu datové komunikační sběrnice.

4.4 Datové komunikační sběrnice

Sběrnice zajišťuje přenos dat a řídicích povelů mezi dvěma a více zařízeními. Přenos dat na sběrnici se řídí stanoveným protokolem, který udává vlastnosti a funkce pro danou komunikaci.

V laboratorních úlohách Festo je nainstalovaný řídicí systém od společnosti B&R-Automation, který popisuje kapitola 2.5. Tento kompaktní programovatelný logický automat obsahuje dva Ethernetové porty s konektorem RJ-45, které dosahují rychlosti 100 Mbit/s. Jeden port funguje jako standardní síťový Ethernet, na který lze aplikovat libovolný protokol z knihovny Automation Studio. Druhý port je standardně využíván pro komunikační sběrnici Ethernet Powerlink. Propojení sběrnic se provádí pomocí standardní kroucené dvoulinky se čtyřmi páry vodičů zakončené konektory RJ-45. Následující kapitola popisuje TCP/IP a Powerlink protokol.

4.4.1 Ethernet TCP/IP

Sada dvou protokolů TCP (Transmission Control Protocol) a IP (Internet Protocol) poskytuje komunikační propojení dvou nebo více bodů (viz literatura [21]). Specifikuje, jak budou data rozděleny na jednotlivé pakety, označeny adresami, směrovány, přenášeny a přijímány v cílovém bodě. Většina komunikací probíhá podle referenčního modelu ISO/OSI, který pracuje se sedmi vrstvami. Architektura TCP/IP se člení pouze do čtyř abstraktních vrstev. Tyto vrstvy zobrazuje Tabulka 4.1 na straně 31. Nejvyšší aplikační vrstva se stará o výměnu dat mezi procesy. Následně pokračuje transportní vrstva, síťová vrstva a nejnižší vrstvou je síťové rozhraní, kterou představuje nejčastěji Ethernet. Řízení provozu na sběrnici Ethernetu zajišťuje algoritmus CSMA/CD, který řídí přístup zařízení na sběrnici a zaručí přenesení dat.

Realizace komunikace mezi stanicemi probíhá pomocí modelu klient-server. Jedna stanice představuje server a ostatní dvě stanice se stanou klientem. Napsaný program se pouze rozšíří o komunikační strukturu a funkce z knihoven disponovaných v *Automation Studio* (viz kapitola 3.1).

Standardní Ethernet v kombinaci s internetovým protokolem TCP/IP je nevhodný pro přenos dat v tvrdém reálném čase. Protokol provádí takzvanou neviditelnou komunikaci, kdy běží v pozadí nezávisle na uživateli a kontroluje stav zařízení v síti. Touto „neřízenou“ komunikací může docházet ke kolizím. V takovém případě se využívá průmyslový Ethernet, který využívá principy a protokoly poskytující determinismus a řízení v reálném čase.

4.4.2 Ethernet Powerlink

Průmyslový Ethernet se aplikuje, jak již z názvu vypovídá, v průmyslovém prostředí, které často vyžaduje řízení v reálném čase. Pro dosažení lepšího determinismu se využívají specializované protokoly. Mezi jedny z nejpobulárnějších průmyslových Ethernet protokolů patří Powerlink.

Powerlink protokol představila rakouská společnost B&R-Automation a jedná se o otevřený protokol spravovaný organizací Ethernet POWERLINK Standardization Group. Veškerá dokumentace a princip fungování protokolu se nachází na webových stránkách organizace (viz literatura [10]).

Hlavní myšlenkou protokolu je využití standardu Ethernetu a umožnit komunikaci se zařízením v reálném čase. Aby bylo možné tuto komunikaci realizovat, tak bylo zapotřebí dosáhnout deterministického chování. Powerlink rozšřřuje základní princip modelu komunikace Master/Slave metodou s názvem Slot Communication Network Management, kde se nachází zařřzení v roli **Managing Node** a **Intelligent Controlled Node**. Tato metoda představuje výhodu velké přenosové rychlosti, optimální vytížení sítě a minimálním časovým rozptylem při odeslání dat. Každé zařřzení v síti má přesně vymezenou dobu k vysílání. V této době může komunikovat právě jen jedno zařřzení s libovolným jiným zařřzením, nebo několika zařřzeními naráz. Pomocí tohoto principu protokolu nemůže dojít ke kolizím při přenosu dat a šířka přenosového pásma sběrnice je optimálně využita.

Kromě rychlé cyklické výměny dat pomocí Powerlinku musí zároveň fungovat acyklická TCP/IP nebo UDP/IP komunikace, která nesmí nijak ovlivnit cyklickou část. Tabulka 4.1 na straně 31 zobrazuje začlenění protokolu do komunikačního modelu ISO/OSI. V síti je celkem přípustných 254 tzv. Controlled Node řízených zařřzení a jeden Slot Communication Network Manager neboli Managing Node.

Průmyslové prostředí často vyžaduje odolnější konektory a kabely. Protože Powerlink staví na standardu Ethernet, tak se propojení provádí pomocí dvojitě stíněné kroucené dvoulinky se čtyřmi páry vodičů zakončené robustními konektory RJ-45. Maximální povolená délka kabelu je 100 m s rychlostí 100 Mb/s. K propojení s přesným časováním sběrnice je přípustný pouze rozdělovač (hub) a lze provést zapojení topologie hvězda i strom.

Výsledkem je optimální platforma pro sběr a rychlou výměnu dat. Tím protokol Ethernet Powerlink může být použit k přenosu dat pro vizualizaci, výměnu dat mezi řídicími systémy a zároveň k programování systémů pomocí sady nástrojů B&R-Automation Net.

Tabulka 4.1: Přiřazení protokolů do sedmivrstvého komunikačního modelu ISO/OSI; zdroj [4][21]

	Model ISO/OSI	TCP/IP	POWERLINK		
vrstva 7	Aplikační	Aplikace	Aplikace		
vrstva 6	Prezentační				
vrstva 5	Relační		B&R Automation Net	Cyklická data	
vrstva 4	Transportní	TCP	TCP	UDP	Powerlink
vrstva 3	Síťová	IP	IP		
vrstva 2	Linková	Ethernet CSMA/CD	Řízení k přístupu k médiu (MAC)		
vrstva 1	Fyzická		Ethernet CSMA/CD		

5 Program

5.1 Propojení stanic

Komunikační propojení stanic se realizovalo pomocí struktury distribuovaných řídicích systémů, kde každá stanice obsahuje vlastní plnohodnotný řídicí systém. Vzorový program demonstruje propojení stanic do výrobní linky dvěma různými způsoby a zároveň umožňuje samostatný provoz pracoviště. První možnost propojení se nabízí již samotným výrobcem Festo, a to využít připravené diskrétní vstupy a výstupy z ovládacího panelu. Druhá varianta propojení využívá sběrnici a protokol Powerlink, který je součástí již nainstalovaných řídicích systémů.

Princip komunikace spočívá na přenesení informace o stavu stanice. Každá stanice se může nacházet ve čtyřech stavech *Ready*, *Run*, *Done* a *Fault*. Pro komunikaci mezi stanicemi jsou zásadní dva stavy. *Ready* informuje o připravené stanici pro přijetí obrobku a stav *Done* informuje o dokončeném procesu stanice a připravenosti předat obrobek další stanici. Tento princip komunikační struktury je společný pro obě řešení propojení stanic.

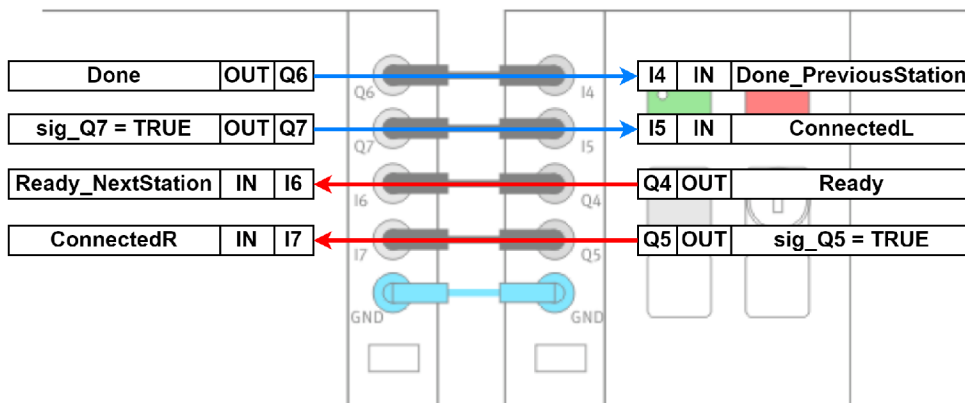
5.1.1 Propojení diskrétními vstupy a výstupy

Nejjednodušší variantou propojení je využití vstupních a výstupních diskrétních signálů. Jedná se o modulární řešení, které při aplikaci stejných pravidel komunikace umožňuje vytvoření libovolné výrobní linky bez předchozí konfigurace programu. Kapitola 4.3 popisuje základní princip a možnosti propojení stanic pomocí diskrétních signálů.

K základní komunikaci dostačuje propojení pouze jednoho vodiče, který vysílá signál (*Done*) sousední stanici o dokončeném procesu (*Done_PreviousStation*). V ideálním případě sousední stanice převezme obrobek z předcházející stanice a začne vykonávat svůj proces. Jelikož může nastat situace, kdy sousední linka stále pracuje s obrobkem a ve stejný moment obdrží signál od předešlé stanice, tak musí být přidán druhý signál (*Ready_NextStation*). Ten informuje předcházející stanici o stavu (*Ready*), kdy je stanice připravena přijmout další obrobek. Aby jednotlivé stanice věděly, zda mají očekávat předání nebo přijmutí obrobku, tak se propojí zbylé dva signály (*ConnectedL*, *ConnectedR*). Stanice vysílá konstantní signál druhé stanici, který ho po přijetí informuje o připojené stanici vlevo nebo vpravo.

Stejný proces probíhá i na sousední stanici. Pro správnou funkci signálů musí mít všechny stanice propojeny společný potenciál (GND).

Čtyřvodičová konfigurace komunikace diskretními signály dostačuje k vytvoření výrobní linky, ale k přenesení více dat narazí takovéto řešení na omezení. Propojení dvou stanic zobrazuje schématický Obrázek 5.1 a skutečnou realizaci propojení všech tří stanic zachycuje Obrázek 2.1 na stráně 13.

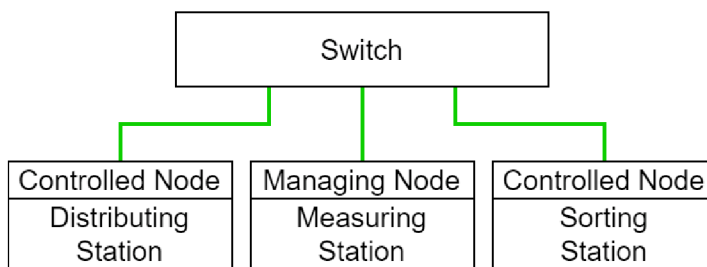


Obrázek 5.1: Propojení pomocí diskretních signálů na ovládacím panelu; zdroj [24]

5.1.2 Propojení pomocí Powerlinku

Komplexní řešení, s téměř neomezenými možnostmi komunikace, poskytuje propojení pomocí sběrnice společně s průmyslovým protokolem Powerlink. Takovéto řešení demonstruje jednoduchý přenos dat s vlastnostmi řízení v reálném čase. Bližší popis této datové komunikační sběrnice se nachází v kapitole 4.4.2 Ethernet Powerlink.

Jako první se musí provést propojení stanic na jednu sběrnici pomocí kroucené dvoulinky s konektorem RJ-45. K dosažení řízení v reálném čase se musí využít rozdělovač (hub), ale pro demonstrativní účely byl použitý síťový přepínač (switch). Tím dojde k narušení determinismu neboli k delšímu zpoždění a odchylce (jitter) při přenosu dat. Stále se ale jedná o přípustné řešení, které poslouží k vytvoření demonstrativní výrobní linky. Propojení zobrazuje Obrázek 5.2.



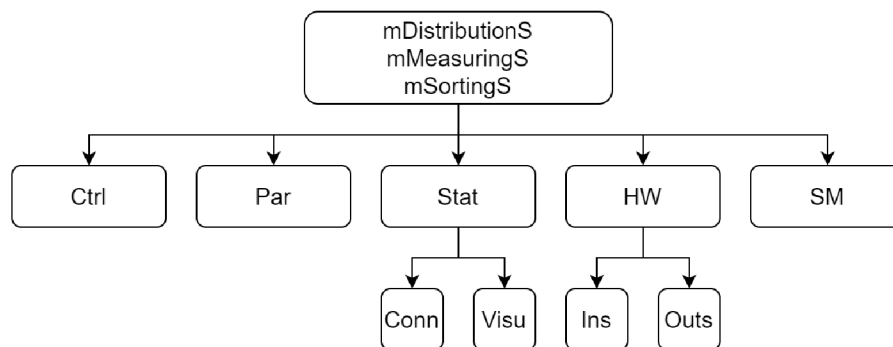
Obrázek 5.2: Propojení pomocí Powerlinku

Jakmile jsou připojeny všechny stanice do síťového přepínače, tak je možné provést nastavení komunikace v prostředí **Automation Studio**. Postupovalo se podle návodu, popsaného v nápovědě. V jednom projektu se musí nacházet všechny programy a hardwarové konfigurace jednotlivých stanic, které se mají mezi sebou komunikačně propojit. Zvolí se stanice v roli **Managing Node** a do hardwarové konfigurace se přidá virtuální Powerlink modul z katalogu produktů. K tomuto modulu se přiřadí hardwarová konfigurace takzvaného **Intelligent Controlled Node** a nastaví se vstupní a výstupní proměnné. Na stanici v roli Intelligent Controlled Node se také nastaví vstupní a vstupní signály a přiřadí se k proměnným. Využívají se stejné datové struktury proměnných, jako u diskretních signálů, čímž dochází k výměně pouze stavu *Ready* a *Done*. Signály *ConnectedL/R* jsou převzaty z Powerlink modulu.

5.2 Struktura programu

Po kontrole elektrického zapojení a otestování funkčnosti pracovišť bylo zapotřebí vhodně navrhnout datovou strukturu. Program jednotlivých stanic je postaven na dvou hlavních strukturovaných proměnných.

Nejprve bylo nutné navrhnout strukturu pro jednotlivé úlohy, kde název odpovídá dané stanici (**mDistributionS**, **mMeasuringS**, **mSortingS**). Datová struktura pro stanice se dělí na pět dalších datových typů, které zobrazuje Obrázek 5.3.



Obrázek 5.3: Struktura proměnné pro stanice

Ctrl slouží k ovládání úlohy a zahrnuje proměnné *Start*, *Stop*, *FaultAck*, *Auto-Mode* a *ManuMode*. **Par** obsahuje interní pomocné proměnné specifické pro danou úlohu (*ChuteID*, *WorkpieceCap*) a časovač TP (*TimeDelay*), který slouží k vytvoření zpoždění mezi příliš rychlé stavové přechody stanice.

Stat zobrazuje status úlohy a mezi nejdůležitější stavy patří *Ready*, *Run*, *Done*, *Fault*. Dále se dělí na **Conn**, kde se nachází proměnné pro komunikaci mezi stanicemi (*Ready_NextStation*, *Done_PreviousStation*, *ConnectedL*, *ConnectedR*). **Visu** obsahuje pomocné proměnné pro vizualizaci, které indikují stavy a princip připojení k levé nebo pravé stanici.

Datový typ **HW** představuje akční členy a senzory dané úlohy. Obsahuje hlavní vstupní a výstupní proměnné **Ins** a **Outs**, které jsou konkrétně rozepsány společně s popisem v tabulkách 5.1, 5.2 a 5.3. Mimo jiné lze pomocí těchto proměnných ovládat stanici v manuálním režimu. V rámci základní orientace v programu nejsou potřebné žádné další proměnné. Konkrétnější tabulky s informacemi o zapojení a přiřazení jednotlivých proměnných je součástí přílohy B.

Poslední datový typ **SM** neboli State Machine slouží k přechodu mezi stavy a diagnostice stavového automatu.

Tabulka 5.1: Hlavní proměnné distribuční stanice

Proměnná <i>mDistributionS.HW.</i>		Popis
.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	ItemAtConvMiddle	Senzor uprostřed dopravníku
	ItemAtConvEnd	Senzor na konci dopravníku
	SlideRetracted	Senzor zasunutí skluzavky
	SlideAdvanced	Senzor vysunutí skluzavky
	MagazineEmpty	Senzor zásobníku
.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	ConveyorBackward	Chod pásu vzad
	Separator	Aktivace separátoru
	Slide	Vysunutí skluzavky

Tabulka 5.2: Hlavní proměnné měřicí stanice

Proměnná <i>mMeasuringS.HW.</i>		Popis
.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	ItemAtConvMiddle	Senzor uprostřed dopravníku
	ItemAtConvEnd	Senzor na konci dopravníku
	DistanceSensor	Snímač vzdálenosti
	GripperOpen	Uchopovač otevřen
	GripperUp	Uchopovač nahoře
	SwivelAtConv	Otočný modul v poloze dopravníku
	SwivelAtMeasuring	Otočný modul v poloze měření
	Distance	Snímač vzdálenosti
.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	ConveyorBackwards	Chod pásu vzad
	Separator	Vysunutí deflektoru
	Stopper	Pneumatický blokovací systém
	GripperOpen	Otevřít uchopovač
	GripperDown	Posunutí uchopovač směrem dolů
	SwivelToMeasuring	Otočení modulu do polohy měření

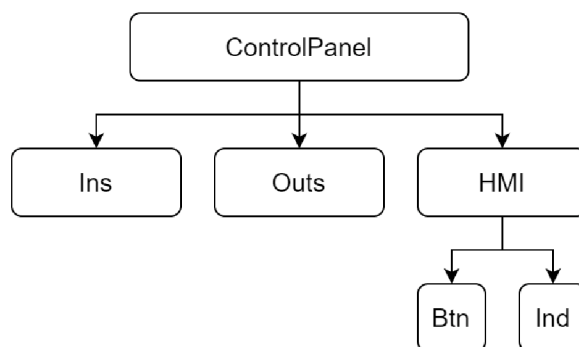
Tabulka 5.3: Hlavní proměnné třídící stanice

	Proměnná <i>mSortingS.HW.</i>	Popis
.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	Deflector_1	Senzor vysunutí deflektoru č.1
	ChuteFull	Senzor naplnění skluzavky
	Deflector_2	Senzor vysunutí deflektoru č.2
	WorkpieceDetected	Vidlicová světelná závora
	WorkpieceNotBlack	Optoelektronický senzor
	WorkpieceMetallic	Senzor kovu
.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	Deflector_1	Vysunutí deflektoru č.1
	Deflector_2	Vysunutí deflektoru č.2
	Stopper	Pneumatický blokovací systém

Druhá datová struktura proměnných **ControlPanel** byla vytvořena pro ovládací panel a HMI. Všechny pracoviště obsahují stejný panel (viz Obrázek 2.2 na straně 14), proto tato struktura je pro všechny stanice stejná. Struktura se dělí na tři datové typy, které zobrazuje Obrázek 5.4.

Vstupní proměnné se nachází ve struktuře **Ins**, která obsahuje proměnné fyzických tlačítek (*btnStart*, *btnStop*, *btnReset*) a otočného klíčku (*keyManual*). Zároveň se zde nachází vstupní proměnné *sig_I4* až *sig_I7*. **Outs** obsahuje fyzické výstupní proměnné ovládacího panelu, jako jsou například indikační LED (*ind_Q1*, *ind_Q2*) a výstupní proměnné *sig_Q4* až *sig_Q7* měřících zdířek na stranách ovládacího panelu.

Pro uživatelské rozhraní je vytvořena struktura **HMI**, která se dále dělí na **Btn** zahrnující tlačítka panelu a otočný klíček pro přepínání mezi automatickým/manuálním módem ovládání. **Ind** obsahuje indikační proměnné pro jednotlivé prvky ovládacího panelu.



Obrázek 5.4: Struktura proměnné pro ovládací panel

5.3 Vzorový program

V jednom projektu se nachází všechny tři programy, HW konfigurace a vizualizace pro jednotlivé stanice. Pro snadné a rychlé naprogramování byl zvolen programovací jazyk strukturovaného textu (ST). Celý vývoj programu probíhal v prostředí *Automation Studio* na hardwaru popsaném v kapitole *Hardwarové vybavení*. Sestavení výrobní linky, nahrání programu do stanic a pokyny pro prvotní spuštění popisuje jednoduchý návod, který se nachází v příloze C.

Pro každou stanici byl navržen vzorový program, který demonstruje typický pracovní cyklus v automatickém režimu. Program umí bez předchozí parametrizace rozpoznat, zda je stanice komunikačně propojena s jinou sousední stanicí. Zároveň program rozpozná i situaci, kdy stanice není součástí žádné výrobní linky a vykonává pracovní proces samostatně. Druhá část návrhu programu umožňuje provést základní manuální otestování dílčích komponent pracoviště. Obě tyto části lze zobrazit a spustit pomocí vizualizace na HMI panelu, nebo VNC Vieweru, který blíže popisuje kapitola 5.4 *Vizualizace a ovládání*.

Program se dělí na tři části. První částí je inicializační sekvence, po které následuje samotný program pracovního cyklu. Ukončovací sekvenci programu obsahuje pouze distribuční a měřicí stanice. Slouží k inicializaci navazující sousední stanice. Třídící stanice je sama o sobě konečnou stanicí, kde dojde k roztrídění obrobku, a proto se zde nenachází ukončovací sekvence.

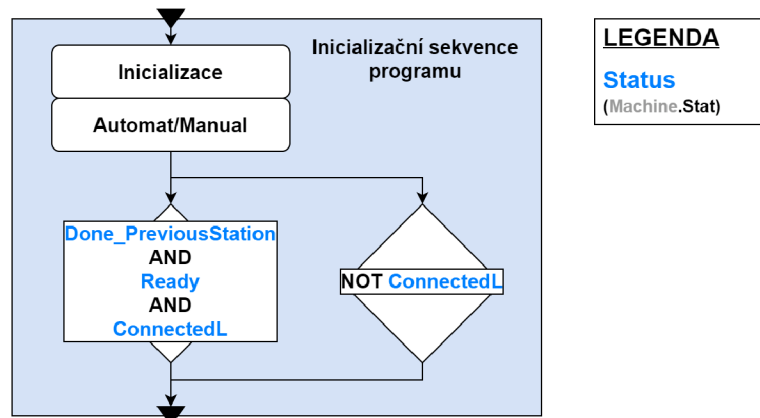
5.3.1 Inicializační sekvence programu

Program pokaždé začíná inicializační sekvencí, kdy nastaví akční členy do základních hodnot a zkontroluje jejich pozice pomocí senzorů. Následně proběhne kontrola skluzných žlabů, zda nejsou plné obrobků, či se nenachází obrobek na konci dopravníku. Jakmile proběhne vše v pořádku, stanice se dostane do stavu *Ready*. Předposlední část zjistí zvolený automatický nebo manuální mód. Jako poslední dojde k inicializaci připojené sousední stanice. Pokud je stanice vlevo připojena (*ConnectedL*), čeká se na signál *Done_PreviousStation* z předchozí stanice, který spustí program pracovního cyklu a převezme obrobek. Když stanice vlevo nebude připojena, tak se pracovní cyklus také spustí a bude očekávat jiný způsob dodání obrobku. Diagram inicializační sekvence programu zobrazuje Obrázek 5.5 na straně 38.

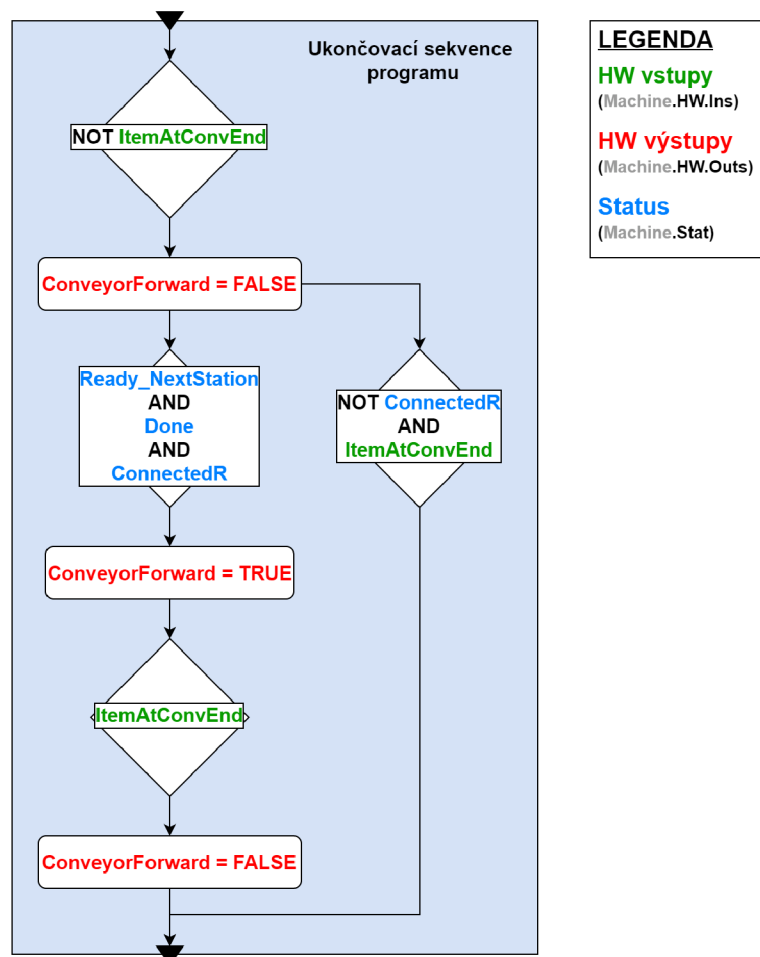
5.3.2 Ukončovací sekvence programu

Jakmile obrobek projde výrobním procesem, je nutné zjistit stav připojení následující stanice. Tento proces zajišťuje ukončovací sekvence programu, kterou zobrazuje diagram na Obrázku 5.6 na straně 38. Když se obrobek zastaví na konci dopravního pásu, stanice se dostane do stavu *Done* a inicializuje se připojená sousední stanice. Pokud je stanice vpravo připojena (*ConnectedR*), čeká se na signál *Ready_NextStation* z následující stanice, který spustí dopravní pás a předá obrobek

další stanici. V případě nepřipojené stanice vpravo se čeká na odebrání obrobku na konci dopravníku.



Obrázek 5.5: Diagram inicializační sekvence programu



Obrázek 5.6: Diagram ukončovací sekvence programu

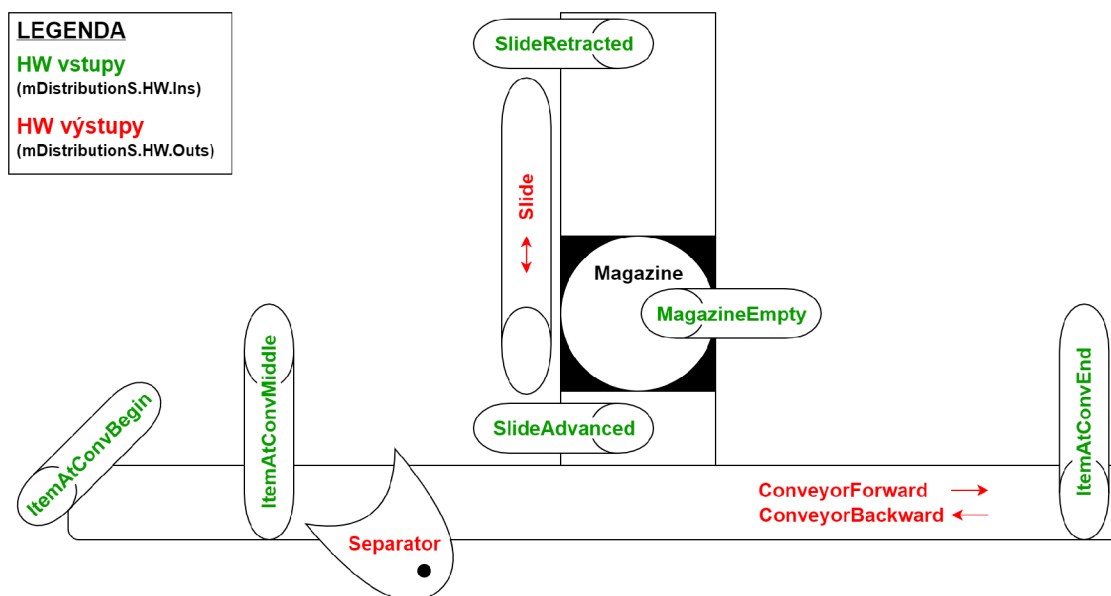
5.3.3 Distribuční stanice

Předpokladem pro spuštění pracovního cyklu je naplněný stohovací zásobník obrobky. Stanice dovoluje distribuci obrobků dvěma způsoby. Podrobnější popis pracovního cyklu stanice zobrazuje diagram na Obrázku 5.8 na straně 40.

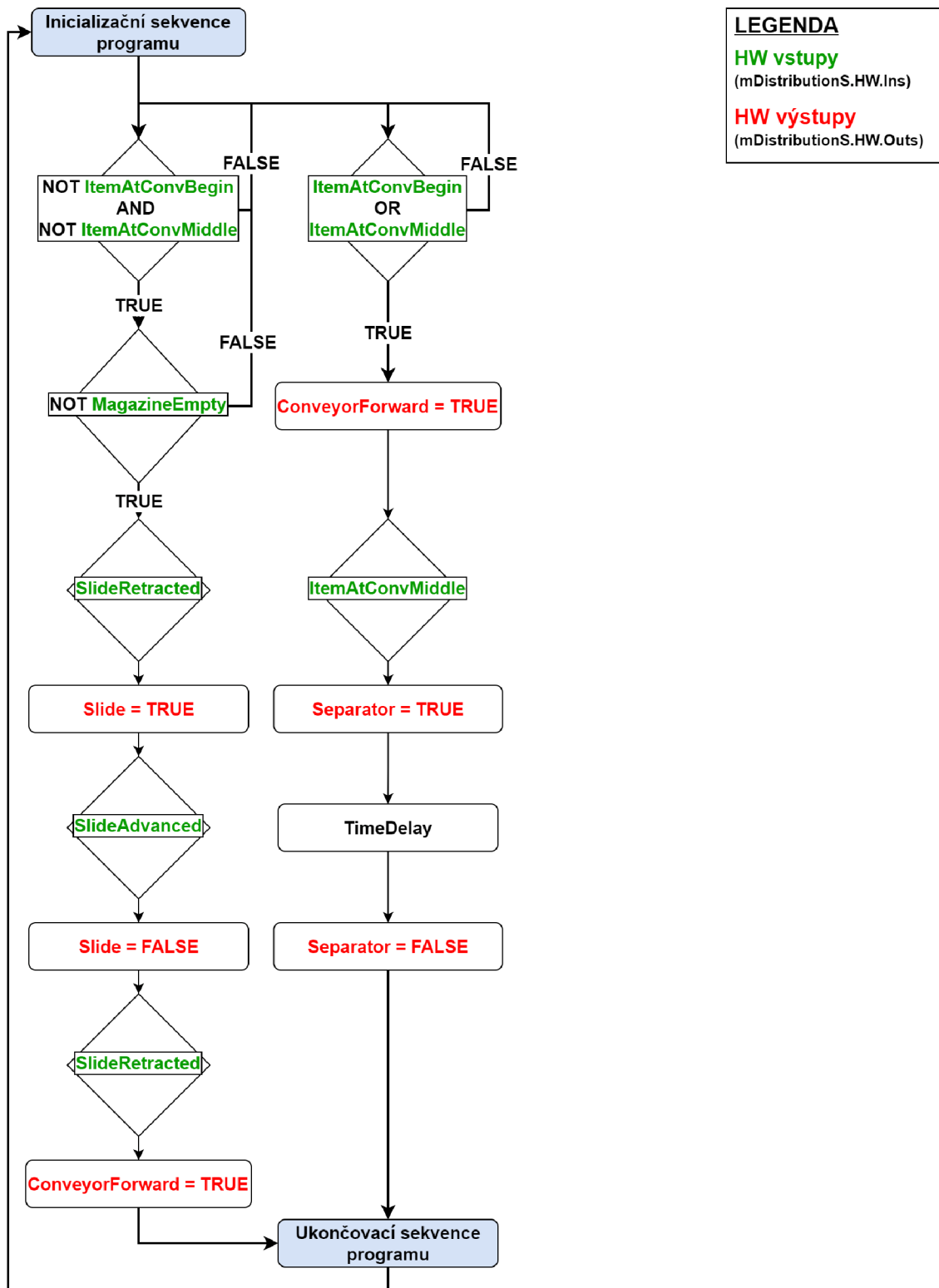
Pokud není detekován obrobek na začátku, nebo uprostřed dopravního pásu, dochází k jeho vytlačení ze zásobníku pneumatickým válcem na dopravní pás. Jakmile válec dosáhne koncové polohy zasunutí, spustí se motor dopravního pásu směrem dopředu. Obrobek se na konci dopravníku zastaví a následuje **Ukončovací sekvence programu**.

Druhý způsob distribuce nastane v případě výskytu obrobku na začátku, nebo uprostřed dopravního pásu. Aby nedocházelo k případným kolizím, tak má tento způsob distribuce vyšší prioritu než distribuce obrobků ze zásobníku. V takovém případě dojde přednostně k odbavení obrobku nacházejícího se na pásu. Separátor zastaví obrobek uprostřed dopravníku a nepustí obrobek dál, dokud není předchozí cyklus dokončen. Jakmile je předchozí cyklus dokončen, spustí se motor dopravního pásu. Separátor uvolní pouze jeden obrobek, který se následně přesune na konec dopravníku, kde se také vykoná ukončovací sekvence programu.

Jednotlivé akční členy a senzory distribuční stanice jsou vypsány v Tabulce 5.1 na straně 35. Pro základní přehled o umístění nainstalovaných prvků slouží orientační schéma na Obrázku 5.7, který zobrazuje pozice hlavních proměnných. Červeně zvýrazněný text znázorňuje proměnnou pro výstupní signál akčního členu. Zelený text představuje proměnnou pro vstupní signál ze senzorů.



Obrázek 5.7: Schéma hlavních proměnných distribuční stanice

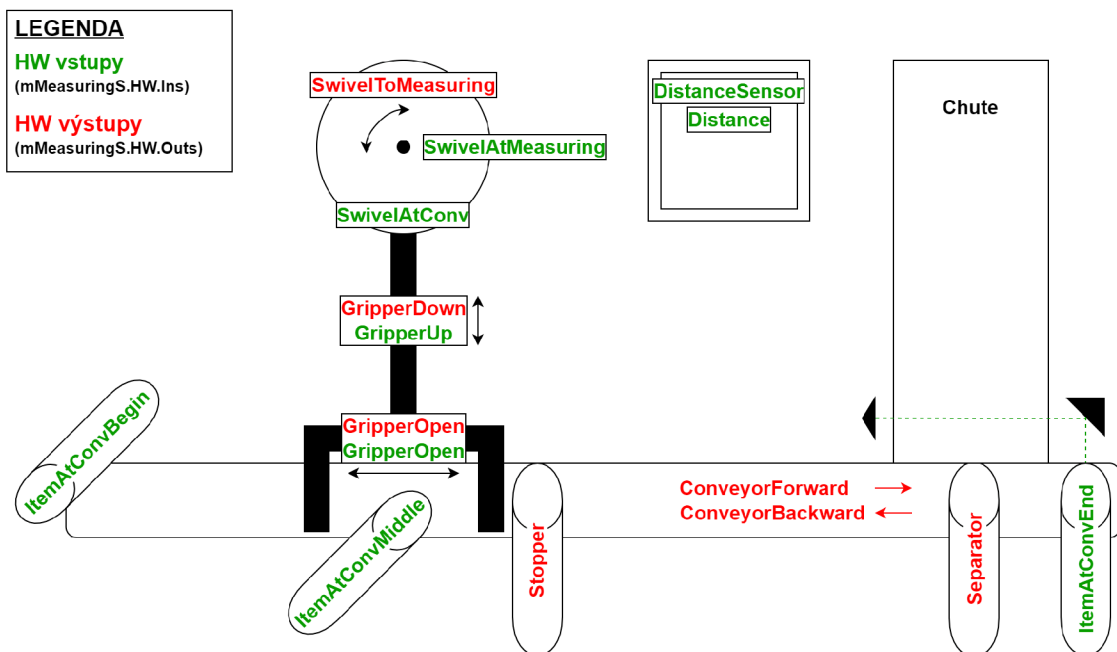


Obrázek 5.8: Diagram pracovního cyklu distribuční stanice

5.3.4 Měřicí stanice

Pracovní cyklus měřicí stanice začíná detekcí obrobku na začátku dopravního pásu. Obrobek se přepraví pod manipulační jednotku s uchopovačem, kde je zastaven pneumatickým blokovacím systémem. Manipulační jednotka obrobek uchopí, zvedne a otočným pohybem přemístí na měřicí stůl. Analogový optoelektronický snímač vzdálenosti změří výšku obrobku a podle daného kritéria rozliší, zda obrobek má nebo nemá nasazené víčko. Následně manipulační jednotka opačným způsobem přemístí obrobek zpět na dopravní pás. Spustí se motor dopravníku směrem dopředu a jakmile obrobek odjede od manipulační jednotky, tak se blokovací systém opět aktivuje. Dle naměřené výšky dojde k vyřídění, kdy obrobek bez víčka se pomocí separátoru vyřadí do skluzného žlabu. Sepnutím senzoru ve žlabu se zastaví dopravník a separátor se deaktivuje. Obrobek s víčkem se přesune na konec dopravníku, kde se provede **Ukončovací sekvence programu**. Podrobnější popis typického pracovního cyklu stanice zobrazuje diagram na Obrázku 5.10 na straně 42.

Dílejší akční členy a senzory měřicí stanice jsou vypsané v Tabulce 5.2 na straně 35. Pro základní přehled o umístění nainstalovaných prvků slouží orientační schéma na Obrázku 5.9, který zobrazuje pozice hlavních proměnných. Červeně zvýrazněný text znázorňuje proměnnou pro výstupní signál akčního členu. Zelený text představuje proměnnou pro vstupní signál ze senzorů.

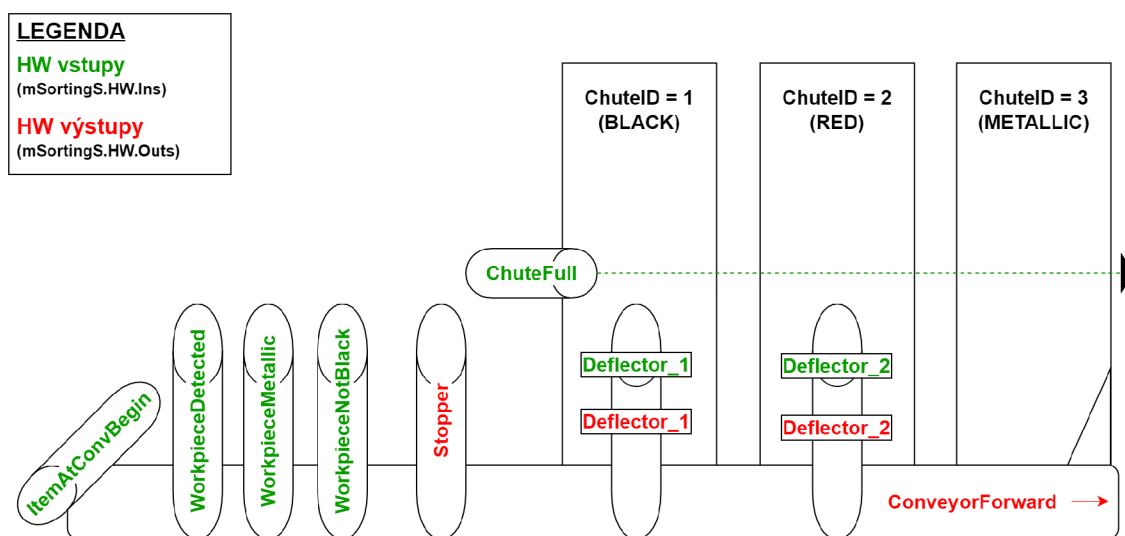


Obrázek 5.9: Schéma hlavních proměnných měřicí stanice

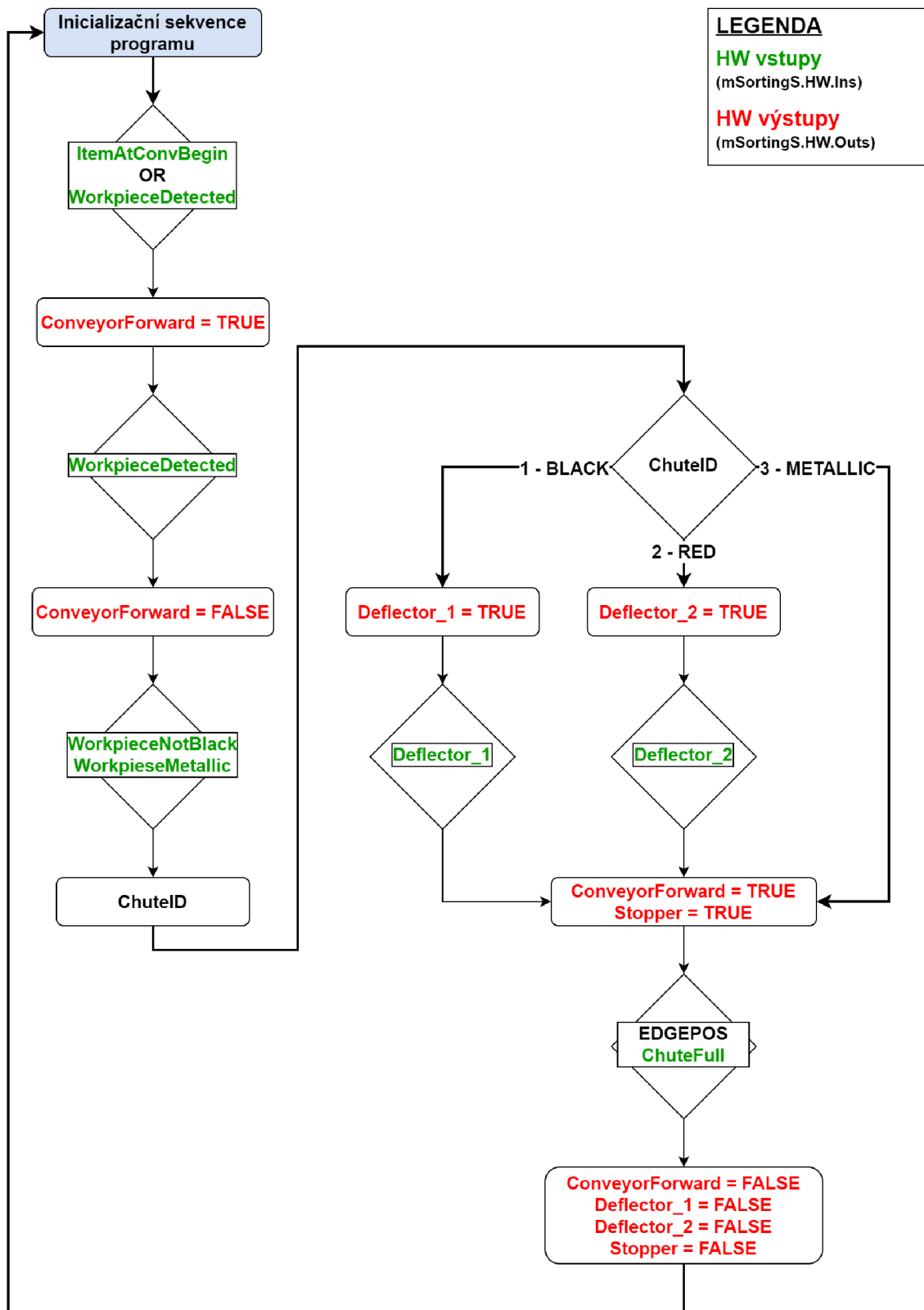
5.3.5 Třídící stanice

Typický pracovní cyklus třídící stanice začíná zjištěním obrobku na začátku dopravního pásu. Ten se posune do místa detekčního modulu, kde je zastaven pneumatickým blokovacím systémem a následně se určí vlastnost materiálu. Stanice rozpozná černý, červený a kovový obrobek. Na základě těchto vlastností se rozhodne, do jakého skluzného žlabu daný obrobek patří. Vlastnost materiálu obrobku je pevně přiřazena k určitému skluznému žlabu, do kterého se vytrídí. Blokovací systém uvolní obrobek, vysune se patřičný deflektor a spustí se dopravní pás. Jakmile obrobek sepne senzor naplnění skluzavky, deflektor se zasune a blokovací systém se opět aktivuje. Podrobnější popis typického pracovního cyklu stanice zobrazuje diagram na Obrázku 5.12 na straně 44.

Jednotlivé akční členy a senzory třídící stanice jsou vypsány v Tabulce 5.3 na straně 36. Pro základní přehled o umístění nainstalovaných prvků slouží orientační schéma na Obrázku 5.11, který zobrazuje pozice hlavních proměnných. Červeně zvýrazněný text znázorňuje proměnnou pro výstupní signál akčního členu. Zelený text představuje proměnnou pro vstupní signál ze senzorů.



Obrázek 5.11: Schéma hlavních proměnných třídící stanice



Obrázek 5.12: Diagram pracovního cyklu třídící stanice

5.3.6 Výrobní linka

Celá výrobní linka se skládá ze tří pracovišť, které jsou mezi sebou komunikačně propojeny. Výměna obrobků mezi stanicemi probíhá vždy podle pravidel, které jsou popsány v kapitolách 5.3.1 *Inicializační sekvence programu* a 5.3.2 *Ukončovací sekvence programu*. Jednotlivé pracoviště vykonávají na základě svého hardwarového vybavení typický pracovní cyklus, který udává funkce a vlastnosti dané stanice.

Na začátku linky se nachází třídící stanice, která demonstruje funkci podávání a oddělování obrobků (viz kapitola 2.2). Podávání neboli distribuce obrobků se realizuje především ze stohovacího zásobníku, ale je umožněna i distribuce ze začátku dopravního pásu. Uprostřed dopravníku se nachází separátor, který zastaví a oddělí obrobek před případným vysunutým pneumatickým válcem. Veškeré distribuované obrobky jsou přesunuty na konec dopravníku.

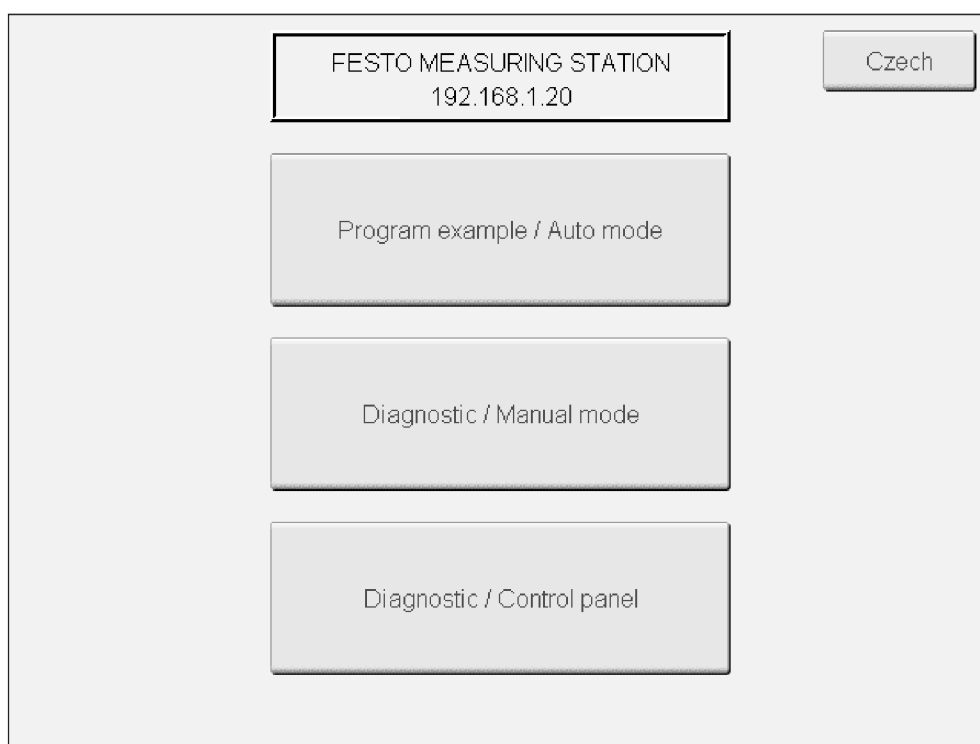
Měřicí stanice se nachází uprostřed linky a vykonává funkce manipulace, měření výšky a jednoduché třídění obrobků (viz kapitola 2.3). Jakmile z levé strany přijede obrobek z distribuční stanice, dojde k jeho přemístění pomocí manipulační jednotky na měřicí stůl. Následně proběhne měření výšky obrobku a přenesení zpět na dopravní pás. Podle naměřené výšky se obrobek bez víčka vytřídí pomocí separátoru do skluzného žlabu a obrobek s víčkem pokračuje dál na konec dopravníku.

Výrobní linku ukončuje třídící stanice, která je popsána v kapitole 2.3. Jak již z názvu vypovídá, stanice vykonává funkci třídění a identifikaci obrobku podle vlastnosti materiálu. Pneumatický blokovací systém zastaví obrobek pod detekčním modulem, který rozpozná černý, červený nebo kovový obrobek. Následně se uvolní blokovací systém, spustí se dopravní pás a pomocí dvou deflektorů a mechanické zarážky dojde k roztrídění podle vlastnosti materiálu do předem určeného skluzného žlabu.

5.4 Vizualizace a ovládání

Úlohy lze ovládat pomocí fyzického ovládacího panelu nebo pomocí grafického rozhraní. Vizualizace nabízí více možností k zobrazení informací, proto je vhodná pro zobrazení diagnostiky a ovládacího panelu pro spuštění vzorového programu. Grafické rozhraní bylo vytvořeno a optimalizováno pro rozlišení obrazovky 640×480 pixelů. K zobrazení vizualizace je vhodné připojit HMI panel k řídicímu systému. Operátorský HMI panel může neustále zobrazovat stav a informace o pracovním cyklu stanice nezávisle na jiném zařízení. Pro demonstrativní účely dostačuje připojení pomocí počítače na VNC server řídicího systému s využitím aplikace **VNC Viewer**.

Úvodní obrazovku grafického rozhraní zobrazuje Obrázek 5.13, kde se nachází menu pro tři další obrazovky. V horní části je napsán název stanice společně s IP adresou. V pravém horním rohu se vyskytuje tlačítko s možností přepínání jazyků mezi češtinou a angličtinou.



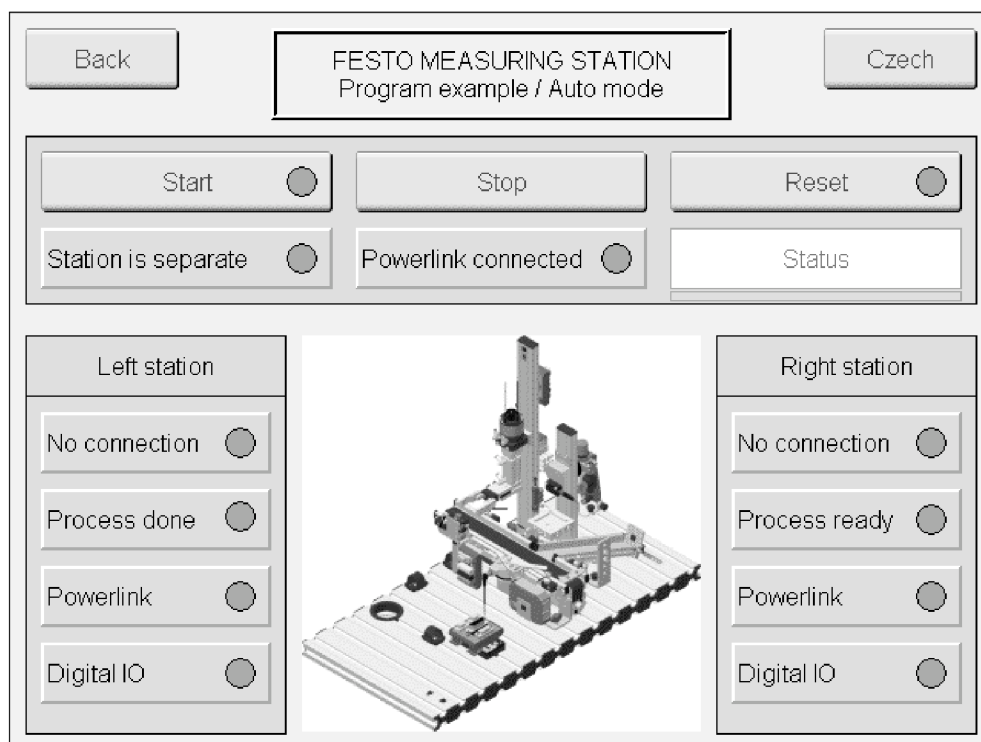
Obrázek 5.13: Vizualizace úvodní obrazovky

5.4.1 Vzorový program a automatický režim

První odkaz v menu zobrazí jednoduché grafické rozhraní (viz Obrázek 5.14). Obrazovka se dělí na tři části. Nahoře se nachází tři ovládací tlačítka pro spuštění, zastavení a resetování vzorového programu. Pod tlačítka se indikuje stav stanice v samostatném režimu, kdy není připojena žádná sousední stanice. Dále se zde indikuje status připojeného Powerlinku. Poslední okénko zobrazuje aktuální stav pracovního cyklu stanice (*Run*, *Done*, *Ready*). *Fault* se zobrazí společně s chybovým kódem, který odkazuje na číslo stavu v kódu programu, kde nastala chyba.

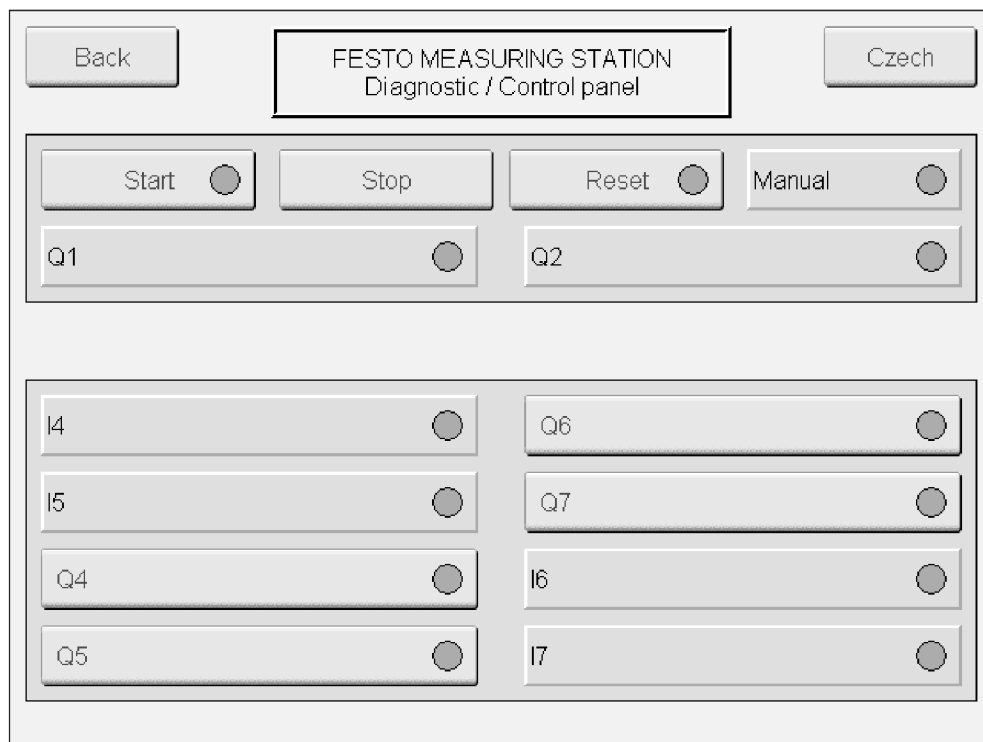
Další dvě části zobrazují téměř stejné informace s tím rozdílem, že levá část informuje o stavu levé stanice a pravá část informuje o stavu pravé stanice. Indikuje se stav způsobu připojení sousední stanice pomocí Powerlinku, diskretními signály, nebo žádného připojení. Pokud je stanice komunikačně propojena se sousední stanicí, tak se indikuje přenášený stav *Done_PreviousStation* a *Ready_NextStation*.

Vzorový program je možné spustit v automatickém i manuálním režimu, který se přepíná klíčkem na fyzickém ovládacím panelu. V automatickém režimu se provádí pracovní proces cyklicky, dokud nenastane chyba, nebo se nestiskne tlačítko *Stop*. V manuálním režimu se po stisknutí tlačítka *Start* provede jeden pracovní cyklus a nebo je možné stanici ovládat plně manuálně přes obrazovku manuálního režimu.



Obrázek 5.14: Vizualizace vzorového programu

Poslední diagnostická obrazovka vizualizuje fyzický ovládací panel (viz Obrázek 5.16). V případě vzdáleného přístupu ke grafickému rozhraní, může tato obrazovka sloužit pro ovládání stanice a kontrolu stavu panelu. V horní části se nachází tlačítka *Start*, *Stop*, *Reset*. Zobrazuje se zde indikace manuálního režimu a kontrolky *Q1* a *Q2*. Dolní část představuje vstupní a výstupní diskrétní signály z konektorů na panelu společně s jejich indikační LED.



Obrázek 5.16: Vizualizace ovládacího panelu

6 Shrnutí realizace výrobní linky

Na základě získaných poznatků o jednotlivých pracovištích byla zvolena vhodná kombinace tří laboratorních úloh. Distribuční, měřicí a třídící stanice představují modelovou laboratorní výrobní linku. Tato kombinace ukazuje základní funkce automatizované výroby, kde se vykonává proces podávání, oddělování, manipulace, měření, identifikace a třídění.

Nejprve bylo nutné provést elektrické zapojení jednotlivých komponent stanic z propojovacího můstku do PLC podle dokumentace (viz literatura [7], [8], [9]). Následně se provedly drobné mechanické úpravy. Odebraly se mechanické zarážky na konci dopravníku a seřídily se optické snímače.

Modulárnost a hardwarové vybavení stanic dovoluje různé kombinace výrobních linek a zároveň umožňují propojení i více než tří pracovišť. V případě budoucího rozšíření linky se stává vhodnou struktura řídicího algoritmu distribuovaný řídicí systém. Komunikační propojení je možné provést diskretními signály z ovládacího panelu, nebo pomocí Powerlinku, který vyžaduje předchozí konfiguraci v prostředí Automation Studio. Výhodou komunikace po sběrnici Powerlink jsou téměř neomezené možnosti pro přenos dat. V momentě požadavku modularity stanic se stane vhodnější komunikace diskretními signály, které při dodržení komunikačního principu nevyžadují předchozí konfiguraci v programu.

Hlavním úkolem bylo navrhnout a realizovat ovládací software pro pracoviště v prostředí Automation Studio. Návrh struktury programu a jednotlivých strukturovaných proměnných probíhal průběžně při řešení jednotlivých úloh. Typický pracovní cyklus byl z velké části inspirován dokumentací firmy Festo, ale některé části jsou modifikovány podle vlastního uvážení. Pracovní cyklus byl pro každou stanicí naprogramovaný a odladěný zvlášť. Dalším krokem bylo spojení všech projektů stanic do jednoho projektu z důvodu realizace Powerlink komunikace. Návrh a řešení komunikační struktury je společný pro oba způsoby komunikačního propojení stanic. Tím je zajištěn spolehlivý chod pracovního cyklu při výměně obrobku mezi stanicemi. Pro optimalizaci programu a zachycení chyb bylo důležité zavést systém detekce chyb. Jakmile v hlídaném stavu nastane chyba, tak se hodnota stavu přepíše do chybového kódu. Hodnota odpovídá číslu stavu v kódu, kde nastala chyba.

Posledním krokem k úplné realizaci ovládacího softwaru je vytvoření grafického rozhraní. Prostředí vizualizuje ovládací rozhraní s informacemi o stavech pro spuštění vzorového programu výrobní linky. Zároveň umožňuje provést diagnostiku a manuální ovládání stanice.

Struktura programu neumožňuje žádnou parametrizaci. Rozhodovací kritérium měřené výšky obrobku nebo přiřazení žlabu pro daný obrobek v třídící stanici je pevně dané. Proto by bylo vhodné v budoucnu rozšířit strukturu o tyto možnosti parametrizace. V některých případech nastane situace, kdy dojde ke ztrátě obrobku v průběhu pracovního cyklu. Obrobek se může zaseknout ve stohovacím zásobníku, manipulační jednotka špatně uchopí obrobek nebo se ztratí v průběhu třídění. V těchto případech program neobsahuje detekci takzvaného ztraceného obrobku a bylo by tak vhodné tyto stavy programově a chybově ošetřit.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo seznámit se s modely výrobních stanic Festo a na základě poznatků navrhnout vhodnou kombinaci pro vznik modelové výrobní linky obsahující separační stanici. Na stanicích bylo provedeno elektrické zapojení a nezbytné mechanické úpravy. Navržená výrobní linka byla následně sestavena a komunikačně propojena tak, aby byla se stala funkční.

Ovládací software byl navržen a realizován na platformě automatizační techniky firmy B&R-Automation ve vývojovém prostředí Automation Studio. Vzorový ovládací software demonstruje navržený typický pracovní proces stanice, včetně možnosti manuálního ovládání v grafickém ovládacím rozhraní. Pro výrobní linku byla vytvořena stručná dokumentace k sestavení linky a uvedení do provozu. Dokumentace je součástí práce v příloze C.

Stanice Festo MPS nabízí velikou škálu příslušenství, modulů a společně s řídicím systémem je možné sestavit komplexní výrobní linku. Jednu z možností stručně popisuje předchozí kapitola, která shrnuje realizaci výrobní linky vytvořenou v rámci této práce. Závěr předchozí kapitoly se zmiňuje o rozšíření a úpravách, které se nestihly realizovat. Vzhledem k rozsáhlým možnostem rozšíření výrobní linky by bezpochyby bylo účelné dále rozvíjet a navazovat na tuto diplomovou práci.

Použitá literatura

- [1] *B&R Industrial Automation. X20DIF371*. 2021. URL: www.br-automation.com/cs/produkty/ridici-systemy/x20-system/digital-inputs/x20dif371/ (cit. 21. 12. 2021).
- [2] *B&R Industrial Automation. X20DOF322*. 2021. URL: www.br-automation.com/cs/produkty/ridici-systemy/x20-system/digital-outputs/x20dof322/ (cit. 21. 12. 2021).
- [3] *B&R Industrial Automation. X20AI2622*. 2021. URL: www.br-automation.com/cs/produkty/ridici-systemy/x20-system/analog-inputs/x20ai2622/ (cit. 21. 12. 2021).
- [4] Karel Bílek. *Ethernet Powerlink – komunikace v reálném čase*. 2016. URL: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/ethernet-powerlink-komunikace-v-realnem-case-2001_03_33500_2769/ (cit. 25. 12. 2021).
- [5] *Datasheet X20CP04xx*. 1.02. Eggelsberg: B&R Industrial Automation GmbH, 2017. URL: https://www.br-automation.com/downloads_br_productcatalogue/BRP44400000000000000512505/X20CP04xx-ENG_V1.02.pdf (cit. 21. 12. 2021).
- [6] *Datasheet X20PS9600*. 1.04. Eggelsberg: B&R Industrial Automation GmbH, 2018. URL: https://www.br-automation.com/downloads_br_productcatalogue/BRP44400000000000000573591/X20PS9600-ENG_V1.04.pdf (cit. 21. 12. 2021).
- [7] Frank Ebel a Mustafa Ersoy. *Festo Distributing/conveyor station. Manual*. R1.1. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2016. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8034566_deenesfr_v2.21_lp8034662_mps_d_distributing_station_quick_start_guide_2.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [8] Frank Ebel a Mustafa Ersoy. *Festo Measuring station. Manual*. R1.0. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2015. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8038623_deenesfr_v2.0_lp8038624_mps_d_measuring_station_manual.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [9] Frank Ebel, Mustafa Ersoy a Gerd Häusser. *Festo Sorting Station. Manual*. R1.0. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2015. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8046325_manual_de_en_es_fr_1.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [10] *Ethernet Powerlink - EPSG*. 2021. URL: www.ethernet-powerlink.org (cit. 25. 12. 2021).

- [11] Festo. *Návod k použití čidlo vzdálenosti SOEL-RTD-Q50-PU-S-2L-40*. 2016-06c. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2016. URL: https://www.festo.com.cn/net/SupportPortal/Files/431186/SOEL-RTD-Q50-PU-S-2L-40_2016-06c_8063629F3.pdf (cit. 25. 11. 2021).
- [12] Festo. *MPS – továrny na výuku mechatroniky*. 2021. URL: https://www.festo.com/cz/cs/e/technicke-vzdelavani/vyukove-systemy/automatizace-vyroby-a-prumysl-4-0/mps-tovarny-na-vyuku-mechatroniky-id_31963/ (cit. 25. 12. 2021).
- [13] Festo. *MPS control console for SysLink*. 2021. URL: https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/Components/Part195764/Documentation/control_console.zip (cit. 25. 12. 2021).
- [14] Festo. *PA workpiece set*. 2021. URL: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/process-automation/accessories/pa-workpiece-set.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4x0C41NzcuNTI1Mg> (cit. 25. 12. 2021).
- [15] Festo Didactic InfoPortal. *Distributing / Conveyor Station*. 2021. URL: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/DistributionConveyorStation/EN/index.html> (cit. 25. 12. 2021).
- [16] Festo Didactic InfoPortal. *Measuring Station*. 2021. URL: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/MeasuringStation2018/EN/index.html> (cit. 25. 12. 2021).
- [17] Festo Didactic InfoPortal. *Sorting Station*. 2021. URL: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/SortingStation/EN/index.html> (cit. 25. 12. 2021).
- [18] Festo *Distributing/Conveyor station. Circuit diagrams*. 2017. vyd. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2017. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8034566_mps_d_station_vertellenband.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [19] Festo *Measuring station. Circuit diagrams*. 2017. vyd. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2017. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8038623_mps_d_station_messen.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [20] Festo *Sorting Station. Circuit diagrams*. 2017. vyd. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2017. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8046325_mps_d_station_sortieren.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [21] *Internet protocol suite*. 2021. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite (cit. 25. 12. 2021).
- [22] Jiří Koziorek et al. *Distribúované systémy řízení. učební text*. první, 2011. Ost-rava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011. ISBN: 978-80-248-2599-1. URL: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/DSR/Distribuovane%5C%20systemy.pdf> (cit. 25. 12. 2021).

- [23] Daniel Matocha. „Implementace komunikačního protokolu Siemens USS na platformě PLC automatů BR“. Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2019. URL: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/153264/Bakalarska_prace_2019_Daniel_Matocha.pdf.
- [24] *MPS® System 203. Circuit diagrams*. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8063818_mps_d_anlage_203_basic_siemens.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [25] Martin Otčenášek. „Distribuované řídicí systémy a jejich využití v praxi“. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7641.
- [26] *TM210. Working with Automation Studio*. V2.4.0.1. Eggelsberg: B&R Industrial Automation, 2018.
- [27] *TM213. Automation Runtime*. V2.2.0.0. Eggelsberg: B&R Industrial Automation, 2018.
- [28] *TM223. Automation Studio diagnostics*. V2.3.0.1. Eggelsberg: B&R Industrial Automation, 2018.
- [29] *TM230. Structured Software Development*. V1.2.0.1. Eggelsberg: B&R Industrial Automation, 2013.
- [30] *TM246. Structured Text*. V1.0.8.1. Eggelsberg: B&R Industrial Automation, 2015.
- [31] *TM250. Memory management and data processing*. V2.2.0.2. Eggelsberg: B&R Industrial Automation, 2016.

A Přiložený soubor s programem

- Soubor FESTO_MPS.zip – obsahuje projekt se zdrojovým kódem ve formě Automation Studio v jazyce ST
- Diplomova_prace_2022_Daniel_Matocha.pdf – tento dokument v elektronické formě
- Festo_MPS_manual.pdf - dokument v příloze C popisující postup uvedení výrobní linky do provozu

B Tabulky zapojení logických signálů

Značení prvků/zařízení se shoduje s dokumentací stanice (viz literatura [18], [19], [19])

Distributing Station							
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Značení zařízení		Proměnná	Popis
X20DIF371	15	I0	DigitalInput09	G1BG1	mDistributions.HW.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	25	I1	DigitalInput10	G1BG2		ItemAtConvMiddle	Senzor uprostřed dopravníku
	16	I2	DigitalInput11	G1BG3		ItemAtConvEnd	Senzor na konci dopravníku
	26	I4	DigitalInput12	C2BG1		SlideRetracted	Senzor zasunutí skluzavky
	17	I5	DigitalInput13	C2BG2		SlideAdvanced	Senzor vysunutí skluzavky
	27	I6	DigitalInput14	C2BG3		MagazineEmpty	Senzor zásobníku
X20DOF322	15	Q0	DigitalOutput09	G1KF1	mDistributions.HW.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	25	Q1	DigitalOutput10	G1KF1		ConveyorBackward	Chod pásu vzad
	16	Q2	DigitalOutput11	G1MB1		Separator	Aktivace separátoru
	26	Q4	DigitalOutput12	C2MB2		Slide	Vysunutí skluzavky

Measuring Station							
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Značení zařízení	Proměnná	Popis	
X20DIF371	15	I0	DigitalInput09	G1BG1	mMeasuringS.HW.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	25	I1	DigitalInput10	G1BG2		ItemAtConvMiddle	Senzor uprostřed dopravníku
	16	I2	DigitalInput11	G1BG3		ItemAtConvEnd	Senzor na konci dopravníku
	26	I3	DigitalInput12	G1BG4		DistanceSensor	Snímač vzdálenosti
	17	I4	DigitalInput13	G2BG1		GripperOpen	Uchopovač otevřen
	27	I5	DigitalInput14	G2BG2		GripperUp	Uchopovač nahoře
	18	I6	DigitalInput15	G2BG3		SwivelAtConv	Otočný modul v poloze dopravníku
	28	I7	DigitalInput16	G2BG4		SwivelAtMeasuring	Otočný modul v poloze měření
X20AI2622	12 13	-	AnalogInput01	G1GB4		Distance	Snímač vzdálenosti
X20DOF322	15	Q0	DigitalOutput09	G1KF1	mMeasuringS.HW.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	25	Q1	DigitalOutput10	G1KF1		ConveyorBackwards	Chod pásu vzad
	16	Q2	DigitalOutput11	G1MB1		Separator	Vysunutí deflektoru
	26	Q3	DigitalOutput12	G1MB2		Stopper	Pneumatický blokovací systém
	17	Q4	DigitalOutput13	G2MB1		GripperOpen	Otevřít uchopovač
	27	Q5	DigitalOutput14	G2MB2		GripperDown	Posunutí uchopovač směrem dolů
	18	Q6	DigitalOutput15	G2MB3		SwivelToMeasuring	Otočení modulu do polohy měření

Sorting Station							
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Značení zařízení	Proměnná	Popis	
X20DIF371	15	I0	DigitalInput09	G1BG1	mSortingS.HW.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	25	I1	DigitalInput10	G1BG2		Deflector_1	Senzor vysunutí deflektoru č.1
	16	I2	DigitalInput11	G1BG3		ChuteFull	Senzor naplnění skluzavky
	26	I3	DigitalInput12	G1BG4		Deflector_2	Senzor vysunutí deflektoru č.2
	17	I4	DigitalInput13	B1BG1		WorkpieceDetected	Vidlicová světelná závora
	27	I5	DigitalInput14	B1BG2		WorkpieceNotBlack	Optoelektronický senzor
	18	I6	DigitalInput15	B1BG3		WorkpieceMetallic	Senzor kovu
X20DOF322	15	Q0	DigitalOutput09	G1KF1	mSortingS.HW.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	25	Q1	DigitalOutput10	G1MB1		Deflector_1	Vysunutí deflektoru č.1
	16	Q2	DigitalOutput11	G1MB2		Deflector_2	Vysunutí deflektoru č.2
	26	Q3	DigitalOutput12	G1MB3		Stopper	Pneumatický blokovací systém

Control Panel						
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná		Proměnná	Popis
X20DIF371	11	I0	DigitalInput01	ControlP.Ins	btnStart	Tlačítko Start
	21	I1	DigitalInput02		btnStop	Tlačítko Stop
	12	I2	DigitalInput03		keyManual	Klíč Manual/Auto
	22	I3	DigitalInput04		btnReset	Tlačítko Reset
	13	I4	DigitalInput05		sig_I4	Vstupní port I4
	23	I5	DigitalInput06		sig_I5	Vstupní port I5
	14	I6	DigitalInput07		sig_I6	Vstupní port I6
	24	I7	DigitalInput08		sig_I7	Vstupní port I7
X20DOF322	11	Q0	DigitalOutput01	ControlP.Outs	indStartBtn	Indikace tlačítka Start
	21	Q1	DigitalOutput02		indResetBtn	Indikace tlačítka Reset
	12	Q2	DigitalOutput03		ind_Q1	Indikace Q1
	22	Q3	DigitalOutput04		ind_Q2	Indikace Q2
	13	Q4	DigitalOutput05		sig_Q4	Výstupní port Q4
	23	Q5	DigitalOutput06		sig_Q5	Výstupní port Q5
	14	Q6	DigitalOutput07		sig_Q6	Výstupní port Q6
	24	Q7	DigitalOutput08		sig_Q7	Výstupní port Q7

C Návod k výrobní lince



Festo MPS - Výrobní linka

Manuál

Autor: **Bc. Daniel Matocha**



Obsah

1	Výrobní linka	3
1.1	Sestavení výrobní linky	3
1.1.1	Distribuční stanice	4
1.1.2	Měřicí stanice	6
1.1.3	Třídící stanice	9
1.2	Ovládací panel	11
1.3	Komunikační propojení výrobní linky	12
1.3.1	Propojení diskrétními signály	12
1.3.2	Propojení pomocí Powerlinku	12
2	Vzorový program	13
2.1	Nahrání programu	13
2.2	Vizualizace	13
2.2.1	Grafické rozhraní stanice	14
2.3	Ovládání	16
2.4	Pokyny před prvním spuštěním programu	16
2.4.1	Spuštění cyklu v manuálním režimu	16
2.4.2	Spuštění cyklu v automatickém režimu	16
	Doporučená literatura	17

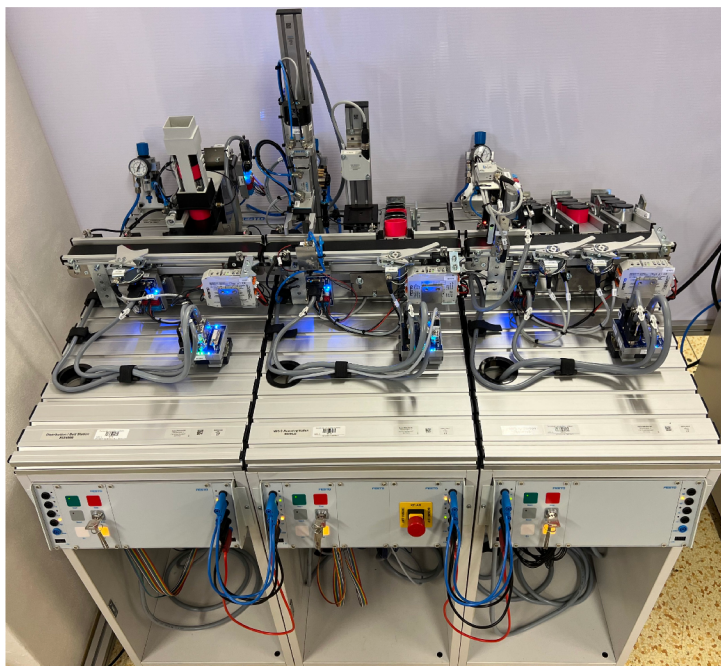
1 Výrobní linka

Festo MPS neboli modulární výrobní systém byl navržen pro nezávislé a průmyslově orientované vzdělávání. Slouží tedy převážně pro školení v oboru mechatroniky a automatizační techniky. Systém nabízí kompaktní školící prostředí, které umožňuje kombinovat stanice, moduly a příslušenství za účelem vytvoření výrobní linky přizpůsobené konkrétním cílům výuky.

1.1 Sestavení výrobní linky

Výrobní linka se skládá ze tří stanic, které jsou zleva řazeny v pořadí distribuční stanice, měřicí stanice a třídící stanice. Jednotlivé stanice je nutné připojit ke zdroji stlačeného vzduchu a nastavit vstupní tlak stanice na 6 barů. Před připojením stanic do elektrické sítě je vhodné odebrat všechny obrobky ze stanice, aby se předešlo k případnému automatickému spuštění nahraného programu. Obrázek 1.1 zobrazuje sestavenou výrobní linku.

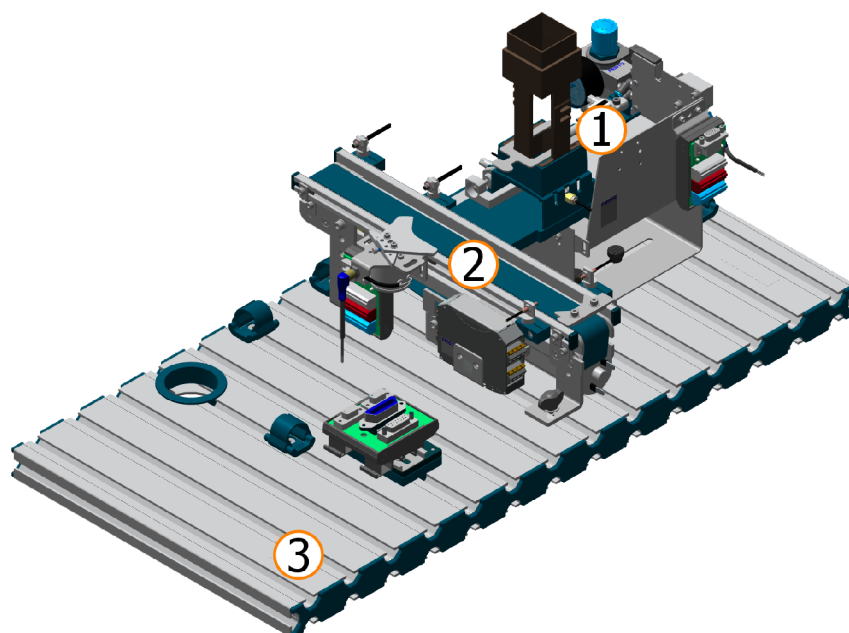
Oficiální dokumentace k jednotlivým stanicím se nachází na informačním portále firmy Festo na adrese www.ip.festo-didactic.com nebo v doporučené literatuře na poslední stránce tohoto manuálu.



Obrázek 1.1: Výrobní linka Festo MPS

1.1.1 Distribuční stanice

Na začátku linky se nachází třídicí stanice, která demonstruje funkci podávání a oddělování obrobků. Podávání neboli distribuce obrobků se realizuje především ze stohovacího zásobníku, ale je umožněna i distribuce ze začátku dopravního pásu. Uprostřed dopravníku se nachází separátor, který zastaví a oddělí obrobek před případným vysunutým pneumatickým válcem. Veškeré distribuované obrobky jsou přesunuty na konec dopravníku.



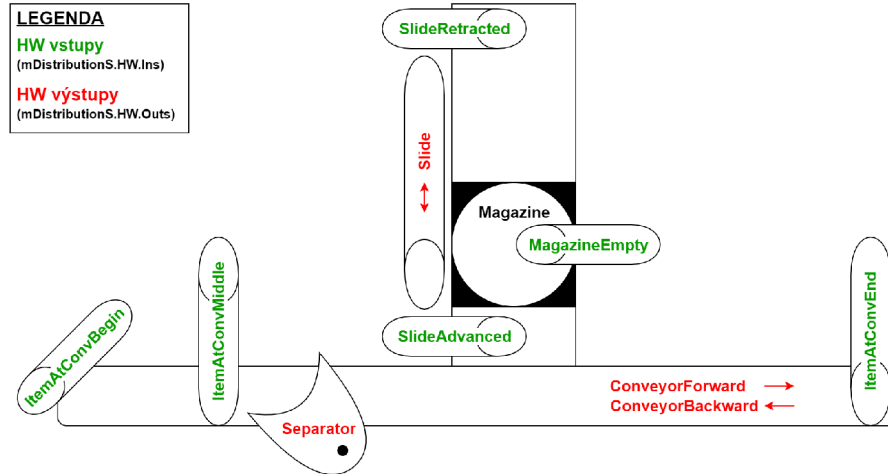
Obrázek 1.2: Model Festo distribuční stanice; zdroj [8]

Legenda

1. Zásobníkový modul
2. Dopravníkový modul
3. Montážní deska

Tabulka 1.1: Proměnné distribuční stanice

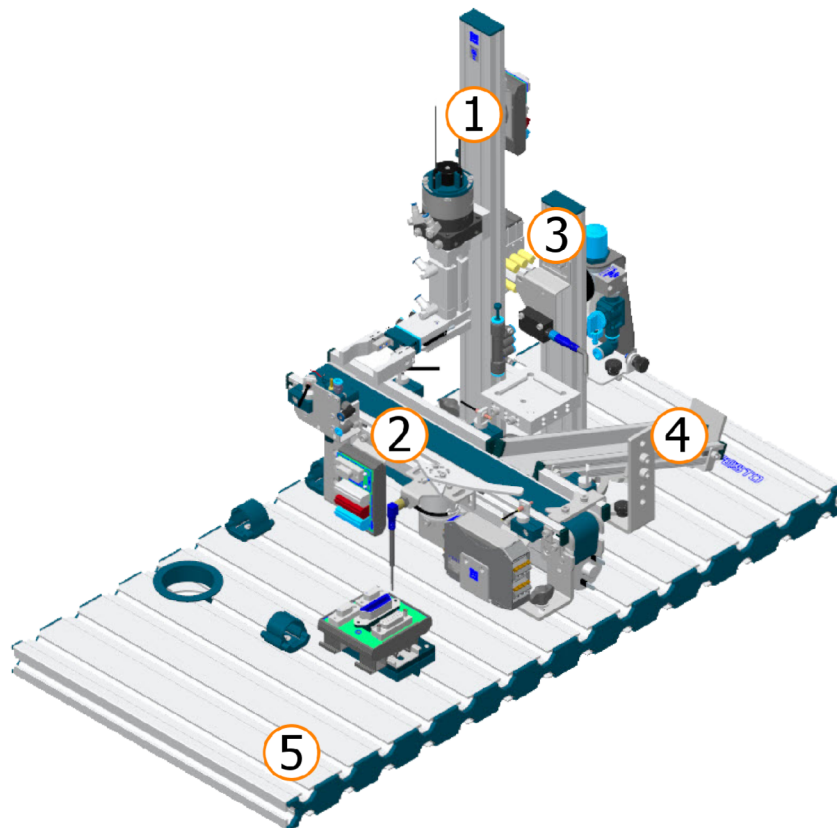
Distributing Station							
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Značení zařízení	Proměnná	Popis	
X20DIF371	15	I0	DigitalInput09	G1BG1	mDistributionS.HW.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	25	I1	DigitalInput10	G1BG2		ItemAtConvMiddle	Senzor uprostřed dopravníku
	16	I2	DigitalInput11	G1BG3		ItemAtConvEnd	Senzor na konci dopravníku
	26	I4	DigitalInput12	C2BG1		SlideRetracted	Senzor zasunutí skluzavky
	17	I5	DigitalInput13	C2BG2		SlideAdvanced	Senzor vysunutí skluzavky
	27	I6	DigitalInput14	C2BG3		MagazineEmpty	Senzor zásobníku
X20DOF322	15	Q0	DigitalOutput09	G1KF1	mDistributionS.HW.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	25	Q1	DigitalOutput10	G1KF1		ConveyorBackward	Chod pásu vzad
	16	Q2	DigitalOutput11	G1MB1		Separator	Aktivace separátoru
	26	Q4	DigitalOutput12	C2MB2		Slide	Vysunutí skluzavky



Obrázek 1.3: Schéma hlavních proměnných distribuční stanice

1.1.2 Měřicí stanice

Měřicí stanice se nachází uprostřed linky a vykonává funkce manipulace, měření výšky a jednoduché třídění obrobků. Jakmile z levé strany přijede obrobek z distribuční stanice, dojde k jeho přemístění pomocí manipulační jednotky na měřicí stůl. Následně proběhne měření výšky obrobku a přenesení zpět na dopravní pás. Podle naměřené výšky se obrobek bez víčka vytřídí pomocí separátoru do skluzného žlabu a obrobek s víčkem pokračuje dál na konec dopravníku.



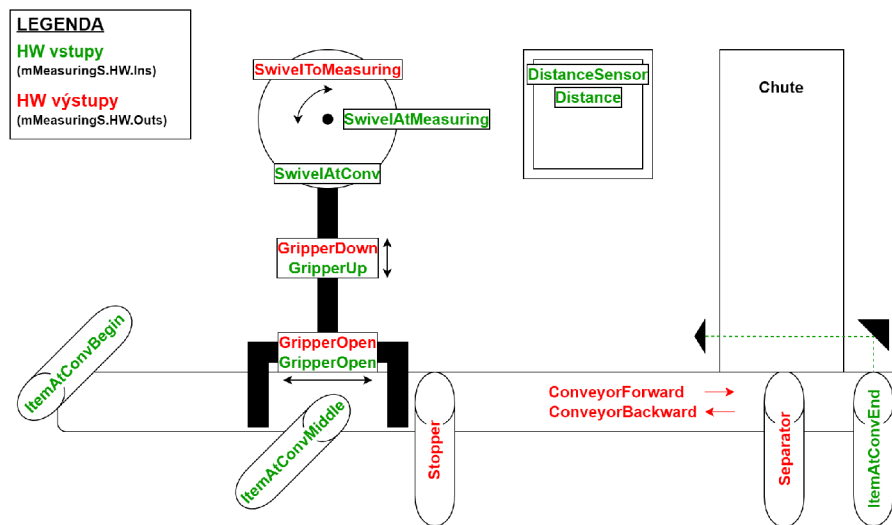
Obrázek 1.4: Model Festo měřicí stanice; zdroj [9]

Legenda

1. Otočný/zdvihací (manipulační) modul
2. Dopravníkový modul
3. Měřicí modul
4. Skluzný žlab
5. Montážní deska

Tabulka 1.2: Proměnné měřicí stanice

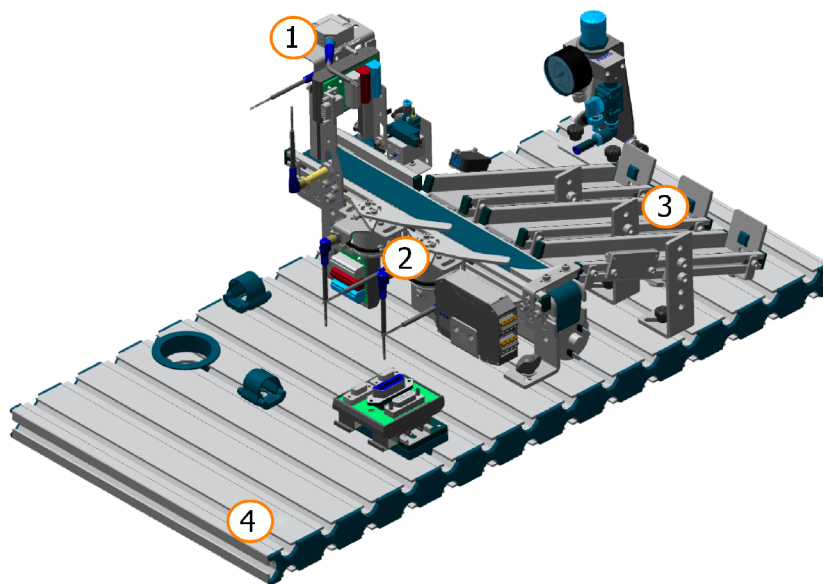
Measuring Station							
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Značení zařízení	Proměnná	Popis	
X20DIF371	15	I0	DigitalInput09	G1BG1	mMeasuringS.HW.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	25	I1	DigitalInput10	G1BG2		ItemAtConvMiddle	Senzor uprostřed dopravníku
	16	I2	DigitalInput11	G1BG3		ItemAtConvEnd	Senzor na konci dopravníku
	26	I3	DigitalInput12	G1BG4		DistanceSensor	Snímač vzdálenosti
	17	I4	DigitalInput13	G2BG1		GripperOpen	Uchopovač otevřen
	27	I5	DigitalInput14	G2BG2		GripperUp	Uchopovač nahoře
	18	I6	DigitalInput15	G2BG3		SwivelAtConv	Otočný modul v poloze dopravníku
	28	I7	DigitalInput16	G2BG4		SwivelAtMeasuring	Otočný modul v poloze měření
X20AI2622	12 13	-	AnalogInput01	G1GB4		Distance	Snímač vzdálenosti
X20DOF322	15	Q0	DigitalOutput09	G1KF1	mMeasuringS.HW.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	25	Q1	DigitalOutput10	G1KF1		ConveyorBackwards	Chod pásu vzad
	16	Q2	DigitalOutput11	G1MB1		Separator	Vysunutí deflektoru
	26	Q3	DigitalOutput12	G1MB2		Stopper	Pneumatický blokovací systém
	17	Q4	DigitalOutput13	G2MB1		GripperOpen	Otevřít uchopovač
	27	Q5	DigitalOutput14	G2MB2		GripperDown	Posunutí uchopovač směrem dolů
	18	Q6	DigitalOutput15	G2MB3		SwivelToMeasuring	Otočení modulu do polohy měření



Obrázek 1.5: Schéma hlavních proměnných měřicí stanice

1.1.3 Třídící stanice

Výrobní linku ukončuje třídící stanice. Jak již z názvu vypovídá, stanice vykonává funkci třídění a identifikaci obrobku podle vlastnosti materiálu. Pneumatický blokovací systém zastaví obrobek pod detekčním modulem, který rozpozná černý, červený nebo kovový obrobek. Následně se uvolní blokovací systém, spustí se dopravní pás a pomocí dvou deflektorů a mechanické zarážky dojde k roztrídění podle vlastnosti materiálu do předem určeného skluzného žlabu.



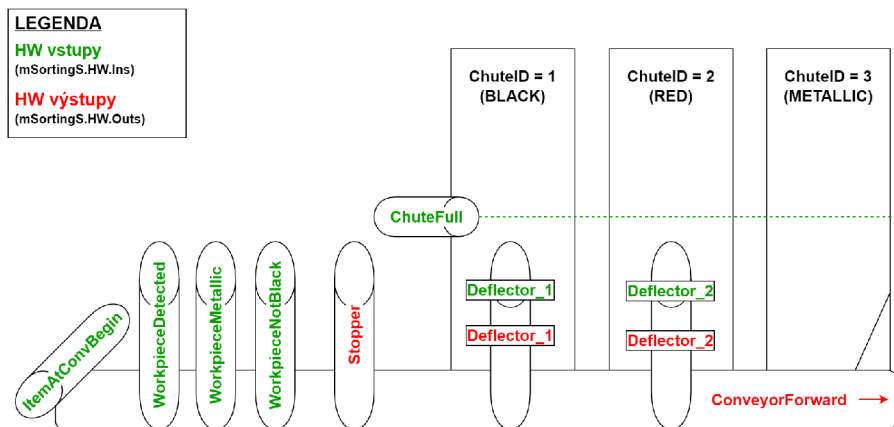
Obrázek 1.6: Model Festo třídící stanice; zdroj [10]

Legenda

1. Detekční modul
2. Dopravníkový modul
3. Skluzný žlab
4. Montážní deska

Tabulka 1.3: Proměnné třídící stanice

Sorting Station							
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Značení zařízení	Proměnná	Popis	
X20DIF371	15	I0	DigitalInput09	G1BG1	mSortingS.HW.Ins	ItemAtConvBegin	Senzor na začátku dopravníku
	25	I1	DigitalInput10	G1BG2		Deflector_1	Senzor vysunutí deflektoru č.1
	16	I2	DigitalInput11	G1BG3		ChuteFull	Senzor naplnění skluzavky
	26	I3	DigitalInput12	G1BG4		Deflector_2	Senzor vysunutí deflektoru č.2
	17	I4	DigitalInput13	B1BG1		WorkpieceDetected	Vidlicová světelná závora
	27	I5	DigitalInput14	B1BG2		WorkpieceNotBlack	Optoelektronický senzor
	18	I6	DigitalInput15	B1BG3		WorkpieceMetallic	Senzor kovu
X20DOF322	15	Q0	DigitalOutput09	G1KF1	mSortingS.HW.Outs	ConveyorForward	Chod pásu vpřed
	25	Q1	DigitalOutput10	G1MB1		Deflector_1	Vysunutí deflektoru č.1
	16	Q2	DigitalOutput11	G1MB2		Deflector_2	Vysunutí deflektoru č.2
	26	Q3	DigitalOutput12	G1MB3		Stopper	Pneumatický blokovací systém



Obrázek 1.7: Schéma hlavních proměnných třídící stanice

1.2 Ovládací panel

Panel se nachází v čele stanice pod montážní deskou a slouží k ovládání stanice. Na levé i pravé straně se nachází 5 standardních 4 mm měřicích zdírek společně s indikačními LED a I/O konektorem. Slouží jako dva vstupní a dva výstupní signály z PLC. Poslední modrý konektor slouží k propojení společného potenciálu (GND). V levé části jsou ovládací membránová tlačítka s indikační LED (Start, Stop a Reset). Otočný klíček slouží k přepínání mezi automatickým a manuálním režimem. Jako poslední jsou zde dvě kontrolky Q1 a Q2, na které lze libovolně přiřadit signál z PLC.

Tabulka 1.4: Proměnné ovládacího panelu

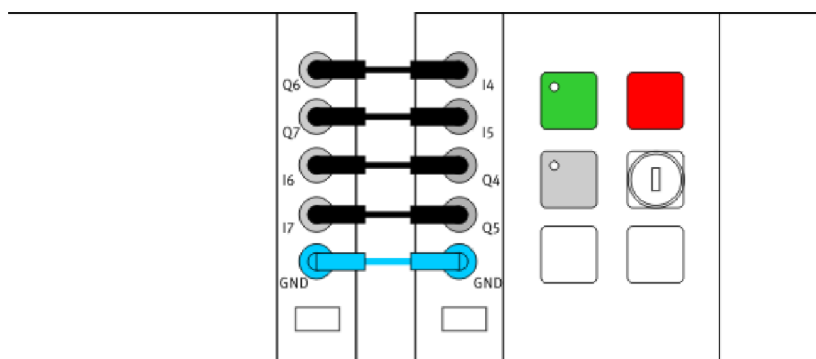
Control Panel						
Modul PLC	Port PLC	Port svorkovnice	Procesní proměnná	Proměnná	Popis	
X20DIF371	11	I0	DigitalInput01	ControlP.Ins	btnStart	Tlačítko Start
	21	I1	DigitalInput02		btnStop	Tlačítko Stop
	12	I2	DigitalInput03		keyManual	Klíč Manual/Auto
	22	I3	DigitalInput04		btnReset	Tlačítko Reset
	13	I4	DigitalInput05		sig_I4	Vstupní port I4
	23	I5	DigitalInput06		sig_I5	Vstupní port I5
	14	I6	DigitalInput07		sig_I6	Vstupní port I6
	24	I7	DigitalInput08		sig_I7	Vstupní port I7
X20DOF322	11	Q0	DigitalOutput01	ControlP.Outs	indStartBtn	Indikace tlačítka Start
	21	Q1	DigitalOutput02		indResetBtn	Indikace tlačítka Reset
	12	Q2	DigitalOutput03		ind_Q1	Indikace Q1
	22	Q3	DigitalOutput04		ind_Q2	Indikace Q2
	13	Q4	DigitalOutput05		sig_Q4	Výstupní port Q4
	23	Q5	DigitalOutput06		sig_Q5	Výstupní port Q5
	14	Q6	DigitalOutput07		sig_Q6	Výstupní port Q6
	24	Q7	DigitalOutput08		sig_Q7	Výstupní port Q7

1.3 Komunikační propojení výrobní linky

Jakmile jsou stanice zprovozněny a sestaveny ve správném pořadí, tak může být provedeno komunikační propojení výrobní linky. Propojení je možné realizovat dvěma různými způsoby.

1.3.1 Propojení diskretními signály

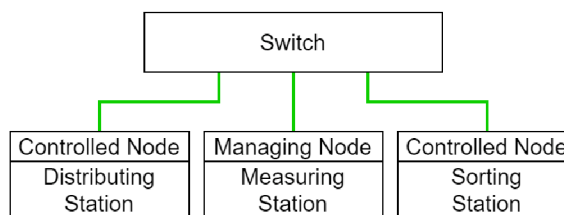
Jednotlivé stanice jsou mezi sebou propojeny vodiči, které jsou připojeny do měřících zdírek na ovládacím panelu. Výstupní signál stanice je připojen do vstupního signálu sousední stanice a naopak. Pro správnou funkci signálů musí být připojen společný potenciál (GND). Propojení dvou stanic zobrazuje schématický Obrázek 1.8.



Obrázek 1.8: Propojení pomocí diskretních signálů na ovládacím panelu

1.3.2 Propojení pomocí Powerlinku

Z konektoru IF3 na PLC se pomocí kroucené dvoulinky s konektorem RJ-45 připojí všechny stanice do síťového přepínače (switch). Tím dojde k propojení výrobní linky pomocí komunikační sběrnice, kde měřicí stanice je v roli (**Managing Node**) a ostatní stanice jsou v roli **Intelligent Controlled Node**. Propojení stanic zobrazuje schématický Obrázek 1.9.



Obrázek 1.9: Propojení pomocí Powerlinku

2 Vzorový program

V jednom projektu se nachází všechny tři programy, hardwarové konfigurace a vizualizace pro jednotlivé stanice. Ovládací software byl navržen a realizován v prostředí B&R Automation studio ve verzi 4.7.

2.1 Nahrání programu

Jako první se spustí Automation Studio a otevře se projekt **FESTO_MPS**. Každá stanice obsahuje v projektu vlastní hardwarovou konfiguraci, kterou je nutné před každým nahráním programu správně zvolit. Jakmile se připojí počítač k řídicímu systému stanice, zvolí se HW konfigurace pro danou stanici a provede se sestavení a nahrání programu do PLC. Pokud je klíček na ovládacím panelu otočen do vodorovné pozice, po nahrání programu by se měla rozsvítit kontrolka *Q2* na ovládacím panelu, která signalizuje stanici v manuální režimu.

Nahrání programu do distribuční stanice

1. očekávaná IP adresa řídicího systému je **192.168.1.10**
2. HW konfigurace **Conf_10DS_CN** (*Distribution Station - Controlled Node*)

Nahrání programu do měřicí stanice

1. očekávaná IP adresa řídicího systému je **192.168.1.20**
2. HW konfigurace **Conf_20MS_MN** (*Measuring Station - Managing Node*)

Nahrání programu do třídící stanice

1. očekávaná IP adresa řídicího systému je **192.168.1.30**
2. HW konfigurace **Conf_30SS_CN** (*Sorting Station - Controlled Node*)

2.2 Vizualizace

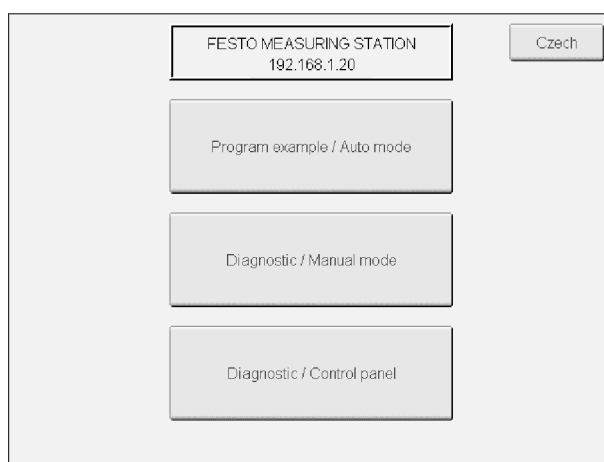
K zobrazení vizualizace je nutné nainstalovat VNC Viewer a připojit se na danou IP adresu stanice ve formátu **IP stanice:port**. Předpokládaná IP adresa jednotlivých stanic je vypsána v seznamu.

Seznam IP adres stanic

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Distribuční stanice | 192.168.1.10:5900 |
| 2. Měřicí stanice | 192.168.1.20:5900 |
| 3. Třídící stanice | 192.168.1.30:5900 |

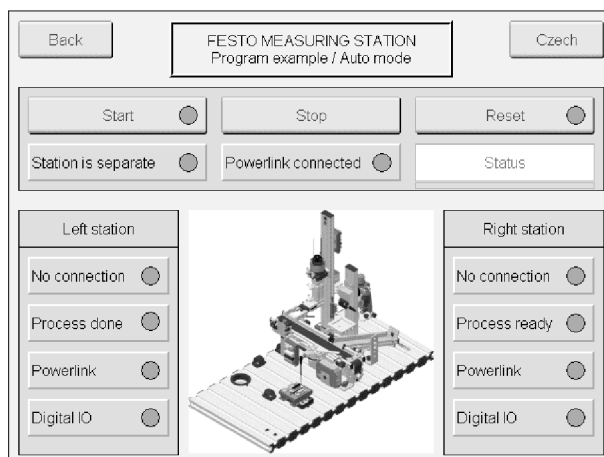
2.2.1 Grafické rozhraní stanice

Úvodní obrazovku grafického rozhraní zobrazuje obrázek 2.1, kde se nachází menu pro tři další obrazovky. V horní části je napsán název stanice společně s IP adresou.



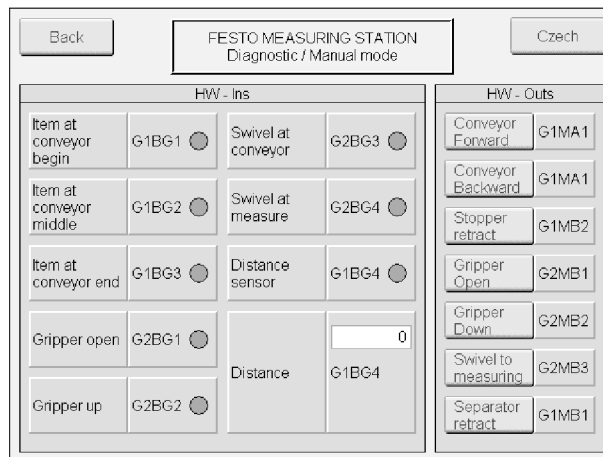
Obrázek 2.1: Vizualizace úvodní obrazovky

První odkaz v menu zobrazí jednoduché grafické rozhraní (viz Obrázek 2.2), které slouží k ovládání vzorového programu. Nahoře se nachází ovládací tlačítka a informace o stavu stanice. Obrazovka dále poskytuje informace o komunikačním propojení stanic vlevo a vpravo.



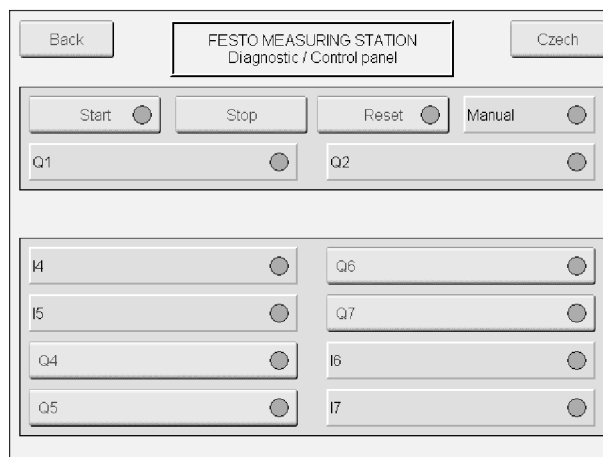
Obrázek 2.2: Vizualizace vzorového programu

Druhá obrazovka slouží k základní diagnostice stanice nebo také k manuálnímu ovládání (viz Obrázek 2.3). V levé části se zobrazují hlavní vstupní proměnné stanice, u kterých lze sledovat stav nebo naměřenou hodnotu. V pravé části se nachází vstupní proměnné, které je možné manuálně aktivovat v případně nastaveného manuálního režimu klíčkem na fyzickém ovládacím panelu.



Obrázek 2.3: Vizualizace manuálního módu

Poslední diagnostická obrazovka vizualizuje fyzický ovládací panel (viz Obrázek 2.4). V horní části se nachází tlačítka Start, Stop, Reset, Manual. Zobrazuje se zde indikace manuálního režimu a kontrolky Q1 a Q2. Dolní část představuje vstupní a výstupní diskrétní signály z konektorů na panelu společně s jejich indikační LED.



Obrázek 2.4: Vizualizace ovládacího panelu

2.3 Ovládání

Tlačítkem **Stop** můžeme kdykoliv v průběhu pracovního cyklu zastavit stanici. Jakmile je program zastavený, tak lze libovolně měnit automatický a manuální režim pomocí klíčku. Kontrolka **Q2** signalizuje režim stanice v manuálním režimu. Kontrolka **Q1** signalizuje chybu stanice, plný skluzný žlab, nebo prázdný zásobník obrobků. V grafickém rozhraní vzorového programu se při chybě zobrazí stav **Fault** společně s chybovým kódem, který odkazuje na číslo stavu v kódu programu, kde nastala chyba. Stisknutím tlačítka **Reset** potvrdíme chybu nebo případnou změnu režimu ovládání. Tím se pracovní cyklus spustí znovu ve výchozím nastavení.

2.4 Pokyny před prvním spuštěním programu

Před spuštěním stanice v automatickém režimu je vhodné nastavit stanici do manuálního režimu, který se nastaví na ovládacím panelu otočením klíčku do vodorovné pozice. Provede se otestování funkcí jednotlivých komponent pomocí grafického rozhraní diagnostiky manuálního režimu. Nejčastější problém je s dopravním pásem, který se po delší době nepoužívání musí manuálně rozhýbat.

Jakmile jsou všechny komponenty funkční, odeberou se všechny obrobky ze skluzných žlabů a dopravních pásů. Stohovací zásobník v distribuční stanici se naplní pouze černými, červenými a kovovými obrobky, které se nakombinují společně obrobky s nasazenými víčky.

2.4.1 Spuštění cyklu v manuálním režimu

Pokud je stanice připravena, tak stisknutím tlačítka **Stop** a následně tlačítka **Reset** dojde k nastavení programu do výchozího stavu. Stisknutím tlačítka **Start** se spustí jeden pracovní cyklus dané stanice. Jakmile tuto operaci provedeme na sousední stanici a stiskneme tlačítka **Start**, tak si stanice obrobek předají.

2.4.2 Spuštění cyklu v automatickém režimu

Pokud je stanice připravena, tak stisknutím tlačítka **Stop** zatavíme stanici. Klíček se přepne do svislé polohy pro nastavení automatického režimu. Následně se stiskne tlačítka **Reset**, čímž se okamžitě spustí výrobní cyklus stanice v automatickém režimu. Na distribuční stanici je vhodné spouštět automatický režim jako poslední, jelikož dojde k okamžité distribuci obrobků ze zásobníku.

Doporučená literatura

- [1] Frank Ebel a Mustafa Ersoy. *Festo Distributing/conveyor station. Manual*. R1.1. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2016. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8034566_deenesfr_v2.21_lp8034662_mps_d_distributing_station_quick_start_guide_2.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [2] Frank Ebel a Mustafa Ersoy. *Festo Measuring station. Manual*. R1.0. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2015. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8038623_deenesfr_v2.0_lp8038624_mps_d_measuring_station_manual.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [3] Frank Ebel, Mustafa Ersoy a Gerd Häusser. *Festo Sorting Station. Manual*. R1.0. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2015. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8046325_manual_de_en_es_fr_1.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [4] Festo. *Návod k použití čidlo vzdálenosti SOEL-RTD-Q50-PU-S-2L-40*. 2016-06c. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2016. URL: https://www.festo.com.cn/net/SupportPortal/Files/431186/SOEL-RTD-Q50-PU-S-2L-40_2016-06c_8063629F3.pdf (cit. 25. 11. 2021).
- [5] *Festo Didactic InfoPortal. Distributing / Conveyor Station*. 2021. URL: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/DistributionConveyorStation/EN/index.html> (cit. 25. 12. 2021).
- [6] *Festo Didactic InfoPortal. Measuring Station*. 2021. URL: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/MeasuringStation2018/EN/index.html> (cit. 25. 12. 2021).
- [7] *Festo Didactic InfoPortal. Sorting Station*. 2021. URL: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/SortingStation/EN/index.html> (cit. 25. 12. 2021).
- [8] *Festo Distributing/Conveyor station. Circuit diagrams*. 2017. vyd. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2017. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8034566_mps_d_station_verteilenband.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [9] *Festo Measuring station. Circuit diagrams*. 2017. vyd. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2017. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8038623_mps_d_station_messen.pdf (cit. 25. 12. 2021).
- [10] *Festo Sorting Station. Circuit diagrams*. 1. vyd. Denkendorf, Germany: Festo Didactic SE, 2017. URL: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/8046325_mps_d_station_sortieren.pdf (cit. 25. 12. 2021).