



Bakalářská práce

Návrh a realizace laboratorní výrobní linky s měřicí stanicí FESTO

Studijní program:

B0714A270001 – Mechatronika

Studijní obor:

B0714A270001ME – Mechatronika

Autor práce:

Petr Čuban

Vedoucí práce:

Ing. Martin Diblík, Ph.D.

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Návrh a realizace laboratorní výrobní linky s měřicí stanicí FESTO

<i>Jméno a příjmení:</i>	Petr Čuban
<i>Osobní číslo:</i>	M21000017
<i>Studijní program:</i>	B0714A270001 Mechatronika
<i>Zadávací katedra:</i>	Ústav mechatroniky a technické informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s laboratorními modely výrobních stanic FESTO. S pomocí získaných poznatků navrhnete jejich vhodnou kombinaci tak, aby vznikla modelová laboratorní výrobní linka obsahující předávací stanici. Výrobní proces bude provádět kompletaci výrobků z předem daných dílů.
2. Navrženou výrobní linku sestavte, vhodně realizujte nezbytné mechanické, elektrické a komunikační propojení zvolených stanic tak, aby byla linka funkční.
3. Navrhnete a realizujete ovládací software využívající platformu automatizační techniky firmy BR-Automation. Výrobní linka by měla demonstrovat standardní 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: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30 až 40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: 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, ČVUT v Praze a Strojní fakulta. Řízení programovatelnými automaty. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-02925-1.
- [3] BR-AUTOMATION. Training materials.

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

Datum zadání práce: 12. října 2023
Předpokládaný termín odevzdání: 14. května 2024

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 12. října 2023

Prohlášení

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

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou 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 bakalářská 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.

25. 4. 2024

Petr Čuban

Návrh a realizace laboratorní výrobní linky s měřicí stanicí FESTO

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací laboratorní linky s využitím dvou modelových stanic firmy FESTO. Vlastní pracovní proces je navržen s cílem demonstrovat funkci jednotlivých stanic a všech prvků, kterými jsou stanice vybaveny. V práci jsou popsány základní postupy pro řízení automatizační techniky. K řízení celého procesu je použita technika na bázi PLC automatu od firmy B&R Automation. Řídící algoritmus stanic je doplněn o systém detekce chybových stavů a vizualizaci, která slouží k manuálnímu ovládní stanic a provádění diagnostiky. V závěrečné části práce je nastíněna možnost rozsáhlejší modifikace linky, která má rozšířit stávající rozložení stanic o zpětnou smyčku a tím podpořit autonomii stanic.

Klíčová slova: PLC, Festo didactic, průmyslová automatizace, B&R Automation, měřicí stanice, třídící stanice, POWERLINK

Design and implementation of laboratory production line with FESTO measuring station

Abstract

This bachelor thesis deals with the design and implementation of a laboratory line using two model stations from FESTO. The actual work process is designed to demonstrate the function of the individual stations and all the elements with which the stations are equipped. The basic procedures for controlling the automation technology are described. The PLC-based technology from B&R Automation is used to control the whole process. The control algorithm of the stations is supplemented by a system of error condition detection and visualization, which is used for manual control of the stations and diagnostics. In the final part of the thesis, the possibility of a more extensive modification of the link is outlined to extend the existing station layout with a feedback loop and thus support station autonomy.

Keywords: PLC, Festo Didactic, industrial automation, B&R Automation, measuring station, sorting station, POWERLINK

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Martinu Diblíkovi, Ph.D. za podnětné rady a konzultace při řešení a zpracování této práce. Nakonec bych rád poděkoval své rodině za trpělivost a projevenou podporu během mého studia.

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam zkratk	10
1 Úvod	11
2 Stanice Festo Didactic	12
2.1 Společné komponenty	12
2.1.1 Dopravníkový modul	13
2.1.2 Ovládací panel	14
2.2 Měřicí stanice	15
2.2.1 Zdvihací modul	15
2.2.2 Měřicí modul	15
2.2.3 Skluzný žlab	15
2.3 Třídící stanice	17
2.3.1 Detekční modul	17
2.3.2 Skluzný žlab	17
3 Řídicí systém	19
3.1 Programovatelný logický automat	19
3.1.1 Napájecí modul	20
3.1.2 Bus modul	20
3.1.3 Modul digitálních vstupů	20
3.1.4 Modul digitálních výstupů	20
3.1.5 Modul analogových vstupů	20
3.2 HMI rozhraní	21
3.3 Napájení	21
3.4 Switch	21
4 Software	23
4.1 Automation studio	23
4.1.1 Podporované programovací jazyky	23
4.1.2 Prostředí AS	25

4.1.3	Diagnostické nástroje	26
4.2	VNC Viewer	26
5	Způsoby komunikace a řízení	27
5.1	Centralizované řízení	27
5.2	Distribuované řízení	27
5.2.1	Liniová topologie	28
5.2.2	Propojení diskrétními vodiči	29
5.2.3	Ethernet	29
5.2.4	Ethernet POWERLINK	29
5.3	Distribuované IO	30
6	Realizace výrobní linky	31
6.1	Komunikační propojení stanic	31
6.1.1	Diskrétní vstupy a výstupy	32
6.1.2	POWERLINK	32
6.2	Řídící algoritmus	33
6.2.1	Společná část algoritmu	34
6.2.2	Měřicí stanice	35
6.2.3	Třídící stanice	37
6.3	Detekce chyb	39
6.3.1	Měřicí stanice	40
6.3.2	Třídící stanice	41
6.4	Vizualizace	43
7	Výsledný výrobní proces	47
8	Zpětná smyčka	48
8.1	Dopravník zpětné smyčky	49
8.2	Třídící stanice	50
8.3	Měřicí stanice	51
8.4	Separační stanice	52
8.5	Předávací stanice	53
8.6	Distribuční stanice	55
9	Závěr	57
	Literatura	60
	A Přílohy	61

Seznam obrázků

2.1	Dopravníkový modul [2]	13
2.2	Ovládací panel	14
2.3	Model měřicí stanice Festo [6]	16
2.4	Používané typy obrobků s víčky [8]	17
2.5	Model třídicí stanice Festo [9]	18
3.1	Řídicí modul X20CP0484 s napájecím modulem X20PS9600 [11]	19
3.2	HMI panel [16]	21
3.3	Elektroinstalace stanice Festo MPS	22
4.1	Struktura vývojového prostředí Automation Studio	25
5.1	Struktura systému s centrálním řízením	27
5.2	Struktura systému s distribuovaným řízením	28
5.3	Struktura systému s liniovou topologií komunikace	28
5.4	Struktura řídicího systému se vzdálenými I/O	30
6.1	Schéma komunikace mezi jednotlivými stanicemi	31
6.2	Propojení pomocí diskretních signálů na ovládacím panelu	32
6.3	Struktura komunikace pomocí sběrnice POWERLINK	32
6.4	Společná struktura proměnných pro stanice	33
6.5	Časový diagram znázorňující předávací sekvence	34
6.6	Schéma a popis prvků měřicí stanice	35
6.7	Vývojový diagram pracovního cyklu měřicí stanice	36
6.8	Schéma a popis prvků třídicí stanice	37
6.9	Vývojový diagram pracovního cyklu měřicí stanice	38
6.10	Hlavní stránka vizualizace na HMI panelu	43
6.11	Stránka automatického režimu ve vizualizace na HMI panelu	44
6.12	Stránka manuálního režimu ve vizualizace na HMI panelu	45
6.13	Stránka nastavení ve vizualizace na HMI panelu	45
6.14	Stránka chyb ve vizualizace na HMI panelu	46
8.1	Stránka chyb ve vizualizace na HMI panelu	48
8.2	Konstrukce uchycení zpětného dopravníku k pojízdnému stolku	49

8.3	Topologie prvků po modifikaci třídicí stanice	51
8.4	Topologie prvků po modifikaci separační stanice	52
8.5	Topologie prvků po modifikaci předávací stanice	54
8.6	Topologie prvků po modifikaci distribuční stanice	56

Seznam tabulek

6.1	Možné chyby měřicí stanice	40
6.2	Možné chyby třídící stanice	41

Seznam zkratk

MPS	Modular production system
I/O	Input/Output
AS	Automation Studio
PLC	Programmable logic controller
GND	Ground
DC	Direct current
CPU	Central processing unit
RAM	Random access memory
MN	Managing node
CN	Controlled node
LD	Ladder diagram
IEC	International Electrotechnical Commission
HMI	Human machine interface
FBD	Function block diagram
ST	Structured text
CFC	Continuous function chart
TCP	Transmission control protocol
IP	Internet protocol
VNC	Virtual network computing
CSMA/CD	Carrier sense multiple access with collision detection

1 Úvod

Jeden z pilířů dnešního průmyslu tvoří bezpochyby automatizace, která způsobila revoluci ve všech jeho odvětvích. Většina automatizovaných pracovních procesů je ale komplikovaná a při jejich navrhování je nutné disponovat potřebnými znalostmi. Právě pro účely vzdělávání v oboru automatizační techniky, vytvořila společnost Festo soubor modelových stanic souhrnně označených zkratkou MPS.

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace modelové výrobní linky ze stanic MPS Festo, která bude demonstrovat standardní pracovní proces. V bakalářské práci budou detailně popsány dvě ze stanic MPS, konkrétně měřicí stanice a třídící stanice. Tyto stanice budou oživeny a následně propojeny do jednoho celku. Mezi stanicemi bude vhodně realizováno komunikační spojení s ohledem na usnadnění tvorby řídicího programu. Pro maximální snahu přiblížit se reálným průmyslovým aplikacím byla navázána spolupráce s kolegou Janem Minaříkem. Hlavním přínosem této spolupráce by měl být vznik komplexní výrobní linky sestávající se z pěti stanic MPS Festo.

V práci bude též pojednáváno o použitém řídicím systému řady X20 od firmy B&R Automation. V rámci práce bude vytvořen řídicí algoritmus, který bude doplněn o systém detekce chyb a vizualizaci. Vizualizace bude sloužit k ovládání linky provozované v manuálním režimu. Zároveň se vizualizace uplatní v případě výskytu závady, kdy bude obsluze podána informace vzniklé o chybě, její možné příčině a postupu opravy. Pro výslednou linku bude vytvořena dokumentace, s jejíž pomocí bude možné linku sestavit a uvést do provozu.

V závěrečné části práce bude popsána modifikace linky, jejíž cílem by bylo rozšířit stávající rozložení stanic o zpětnou smyčku. Tato zpětná smyčka by měla poskytnout výrobní lince plnou autonomii a obsluha by tak nebyla nucena opakovaně zasahovat do pracovního procesu. Tato modifikace však bude popsána pouze hypoteticky z důvodu velké časové náročnosti. Zde se však naskýtá možnost vzniku bakalářské, či diplomové práce, která by zabývala realizací této zpětné smyčky, případně jejím úpravám a dalším vylepšením.

2 Stanice Festo Didactic

Systém stanic MPS od společnosti Festo Didactic, byl vytvořen pro potřebu výuky orientované na automatizační techniku a řízení. Samotné stanice splňují řadu běžných průmyslových standardů a snaží se tak maximálně přiblížit reálným průmyslovým aplikacím. Stanice umožňují uživatelům získat základní znalosti programování logických automatů a dále seznámení se sensorikou, řadou vybraných pohonů a dalšími akčními členy, které jsou v jednotlivých stanicích použity. Díky rozdělení stanic na jednotlivé moduly, z nichž každý představuje dílčí pracovní proces, je možné realizovat různé scénáře pracovního procesu při zachování soběstačnosti a samostatnosti všech použitých stanic. Detailnější podrobnosti o konceptu MPS jsou k nalezení zde [1].

V této práci je zvolena následovná kombinace stanic. Pracovní proces začíná na měřicí stanici, po níž následuje třídící stanice. Tyto stanice tvoří ve svém jádru jednoduchý ale zároveň průmyslově relevantní a nezřídka často využívaný proces kontrolního měření obrobku a následné třídění dle požadovaných kritérií.

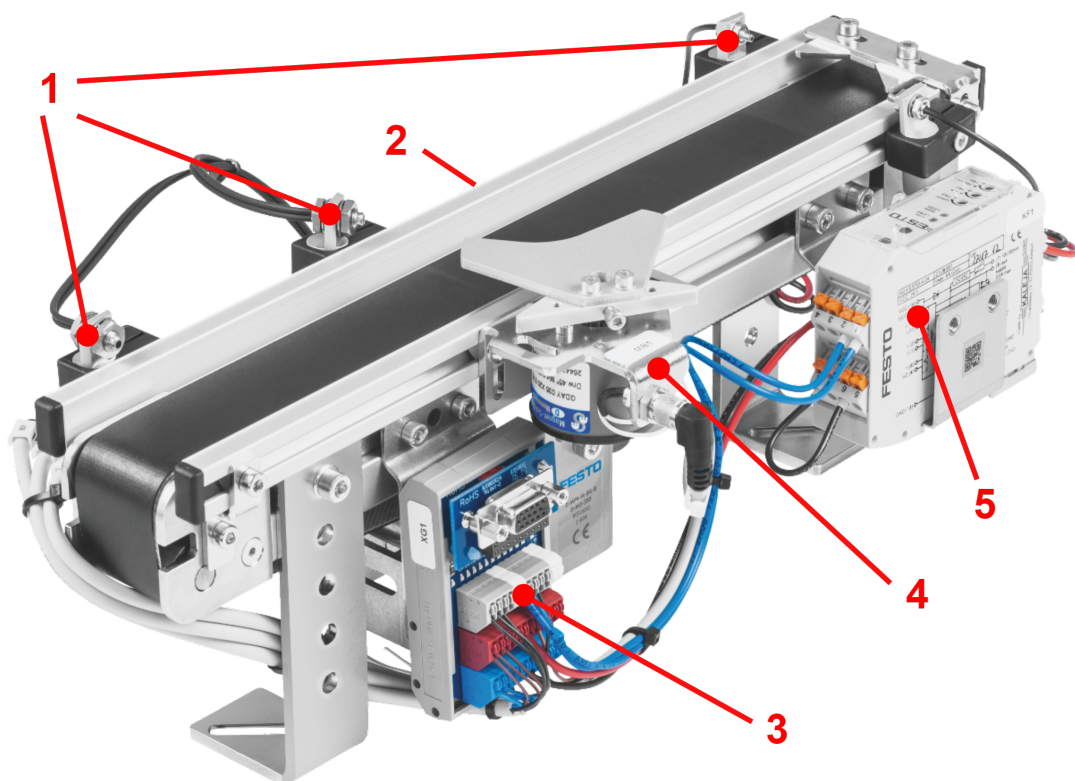
2.1 Společné komponenty

Nosnou konstrukci všech stanic tvoří pojízdný stolek umožňující snadnou manipulaci se stanicí. Na horní straně stolku je umístěna hliníková drážkovaná deska, do jejíž drážek jsou ukotveny prvky demonstrující dílčí úlohu procesu pro danou stanici. Dopravník je typicky osazen dvojicí případně trojicí optoelektronických snímačů na detekci obrobku a na zahájení, případně ukončení činnosti dané stanice. Jako akční členy jsou použity zpravidla elektromagnetické separátory či pneumatický blokovací pístek. Pro separátor a blokovací pístek se můžeme setkat s označením „deflektor” resp. „stopper”. Tyto akční členy slouží k zajištění polohy obrobku na dopravním pásu, případně změnu směru pohybu obrobku při pohybujiícím se pásu. Všechny elektrické prvky stanic pracují s napětím 24 V DC a pneumatické prvky pracují s maximálním přípustným tlakem 6 bar.

Obrobek, se kterým stanice pracují, představuje nádobku ve tvaru válce. Průměr podstavy tohoto válce činí 40 mm a výška činí 25 mm. Obrobek jako takový je zhotoven z plastu a vyskytuje se ve čtyřech různých provedeních. Stanice pracují s obrobky průhlednými, černými, červenými a pokovenými. Všechny druhy obrobků lze opatřit černým plastovým víčkem. Detail obrobku je zachycen na obrázku 2.4.

2.1.1 Dopravníkový modul

Dopravníkový modul tvoří nedílnou součást téměř všech stanic Festo MPS a má za úkol přepravit obrobek mezi předávacími body. Pohon dopravníku zajišťuje stejnosměrný motor s napájením 24 V DC spřažený s převodovkou pro dosažení většího točivého momentu. K ovládní motoru slouží separátní řídicí jednotka M2-FESTO-4-24, která umožňuje jak regulaci otáček motoru, tak i možnost reverzace. Více informací o dopravníkovém modulu je k nalezení na stránkách výrobce [2].



Obrázek 2.1: Dopravníkový modul [2]

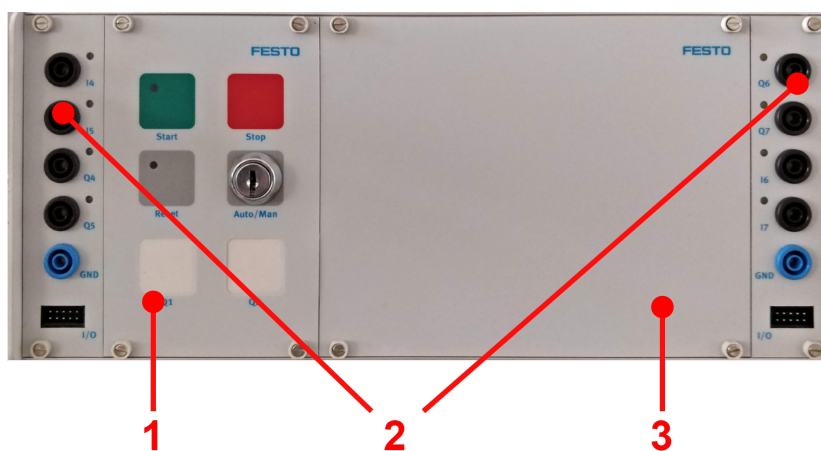
Legenda

1. Optické snímač
2. 24 V DC motor s převodovkou
3. Připojovací I/O terminál
4. Elektromagnetický otočný separátor
5. Řídicí jednotka DC motoru M2-FESTO-4-24

2.1.2 Ovládací panel

Ovládací panel, který slouží pro interakci stanice s obsluhou, se nachází na přední straně pojízdného stolku. Na levé a pravé straně ovládacího panelu je umístěno pět zdírek o průměru 4 mm. Tyto zdírky umožňují připojení I/O signálů pomocí vodičů. V tomto konkrétním případě lze realizovat připojení celkem osmi diskretních signálů, čtyř vstupních a čtyř výstupních. Důležité je neopomenout přítomnost zdírek s označením GND. Bez vzájemného propojení těchto zdírek napříč stanicemi by nedošlo ke správnému rozpoznání signálu, jelikož by pro napětovou úroveň 24V DC neexistoval žádný vztažný bod. Všem zdírkám vyjma GND jsou přiřazeny indikační LED signalizující aktuální stav příslušného I/O. Pod zdírkami levé i pravé straně se nachází I/O konektor umožňující rozšíření I/O ovládacího panelu.

V levé části ovládacího panelu se nachází ovládací tlačítka **Start**, **Stop** a **Reset**. Každému z těchto tří tlačítek náleží indikační LED. Na stejné části panelu je umístěn i otočný přepínač na klíček, který slouží k přepínání režimů stanice, tj. automatický nebo manuální. Pod výše uvedenými tlačítky se nachází dvě indikační kontrolky, kterým lze přiřadit libovolný digitální signál v rámci řídicího programu. Díky vhodnému rozložení fyzických prvků na ovládacím panelu je umožněno rozšíření o další prvky, např. o tlačítko nouzového vypnutí. Doplňující informace o ovládacím panelu lze nalézt na stránkách výrobce [3].



Obrázek 2.2: Ovládací panel

Legenda

1. Sekce s manuálními tlačítky, otočným přepínačem a kontrolkami
2. Zdířky pro připojení I/O pomocí diskretních vodičů
3. Nevyužitá část pro případné rozšíření

2.2 Měřicí stanice

Úkolem měřicí stanice je ověřit, zdali obrobek je či není osazen víčkem a následně tyto dva druhy obrobků roztrždit. Stanice je osazena zdvihacím modulem, který umožňuje uchopení obrobku, jeho odebrání z dopravníku a následné přemístění do měřicí pozice k měřicímu modulu, kde je změřena výška obrobku. Tímto způsobem měření lze jednoznačně rozlišit, zda je obrobek víčkem osazen. Po dokončení měřicího procesu je obrobek dopraven zpět na pás dopravníku. Podle výsledku měření je pak možné třídít oměřené obrobky. Jeden druh obrobku je možné poslat do skluzného žlabu a druhý typ obrobku může pokračovat po dopravníku na další stanici. Dokumentace a schéma zapojení měřicí stanice lze nalézt na stránkách výrobce zde [4].

2.2.1 Zdvihací modul

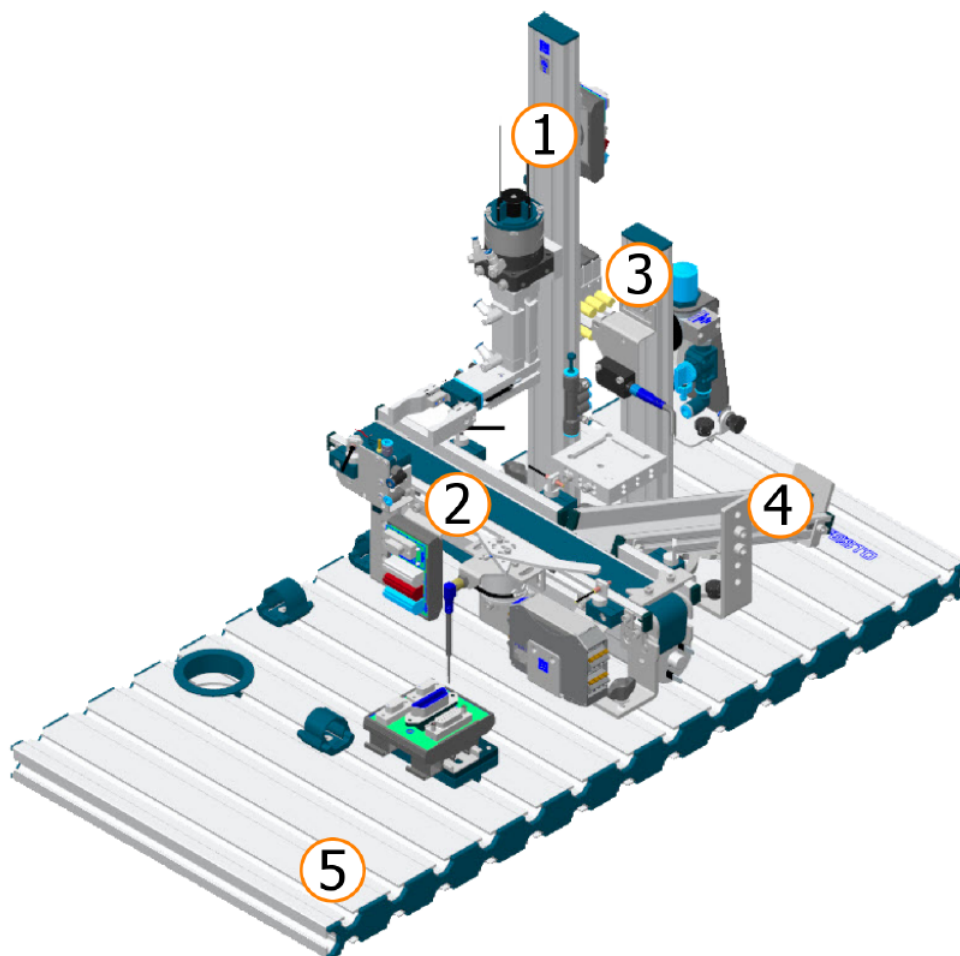
Zdvihací modul (obr. 2.3 - pozice 1) tvoří dvouosá manipulační jednotka, která umožňuje rotační a posuvný pohyb. Manipulační jednotka je na svém konci osazena paralelními čelistmi, které umožňují uchopení předmětu s kruhovým půdorysem o průměru 40 mm. Pozici uchopení a úhel otočení lze doladit dle potřeby. Akční členy zdvihacího modulu jsou ovládány pneumaticky pomocí trojice monostabilních ventilů typu 5/2.

2.2.2 Měřicí modul

Měřicí modul (obr. 2.3 - pozice 3) se sestává z optoelektronického snímače vzdálenosti [5]. Provozní rozsah snímače činí 44 mm až 84 mm s přesností 0,02 mm. Snímač převádí naměřenou hodnotu na analogový výstupní signál 0 V až 10 V. Konstrukce měřicí stanice dovoluje výškové nastavení senzoru a umožňuje tak kalibraci v průběhu životnosti či měření vyšších obrobků.

2.2.3 Skluzný žlab

Skluzný žlab (obr. 2.3 - pozice 4) slouží k uskladnění jednoho ze dvou typů roztržiděných obrobků. Konstrukce skluzného žlabu umožňuje nastavit jeho sklon, případně posunutí. Umístění obrobku do žlabu zajišťuje elektromagnetický separátor. Přítomnost obrobku na začátku skluzného žlabu a na konci dopravníkového modulu snímá tentýž snímač. Mechanická zarážka na konci skluzného žlabu omezuje kapacitu na 6 obrobků. Při demontáži zarážky je možno kapacitu vhodným způsobem rozšířit.



Obrázek 2.3: Model měřicí stanice Festo [6]

Legenda

1. Zdvihací modul
2. Dopravníkový modul
3. Měřicí modul
4. Skluzný žlab
5. Montážní deska

2.3 Třídící stanice

Třídící stanice se nachází na konci výrobního procesu a její úloha je třídít obrobky podle daných kritérií. V této aplikaci stanice rozeznává a následně roztřídí obrobky kovové, červené a černé. Podle výsledku identifikace obrobku dojde k aktivaci příslušného separátoru, a tím je obrobek nasměrován do správného skluzného žlabu. Jednomu ze tří možných typů obrobku je přiřazen poslední skluzný žlab a není tedy třeba aktivovat žádný separátor. Dokumentace a schéma zapojení třídící stanice lze nalézt zde [7].

2.3.1 Detekční modul

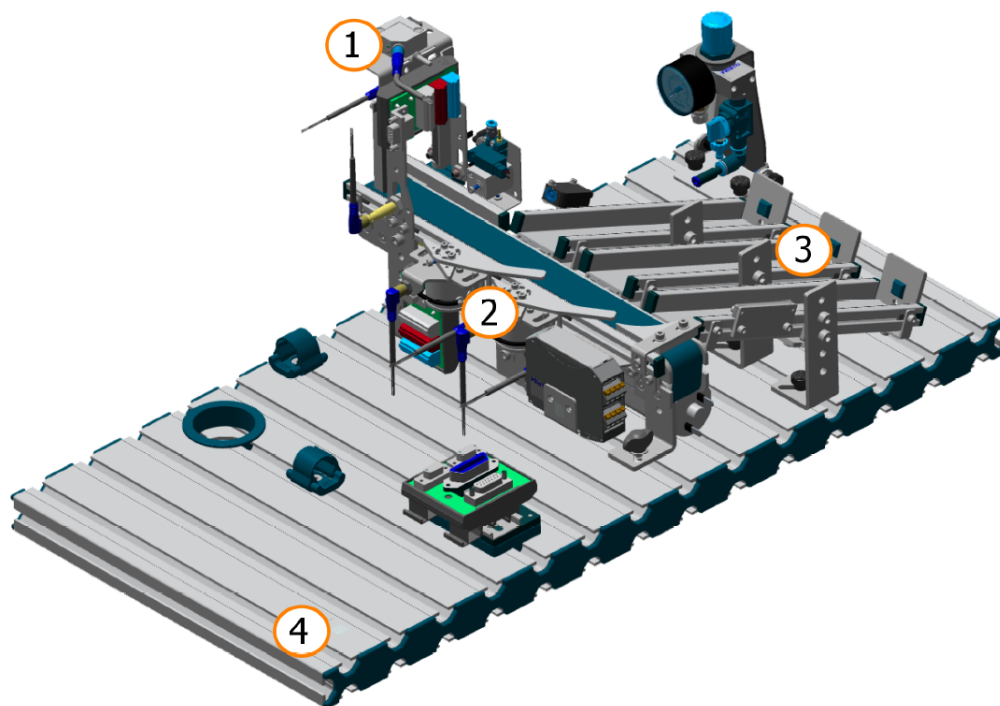
Detekční modul (obr. 2.5 - pozice 1) má za cíl identifikovat druh obrobku. K rozlišení specifických vlastností obrobku jsou použity tři digitální snímače. k detekci všech druhů obrobku slouží světelná závora vidlicové konstrukce. Optoelektronický senzor umí detekovat materiály s dobrou světelnou odrazivostí, v tomto rozpoznává červené a kovové obrobky. Indukční senzor pak detekuje přítomnost pouze kovového obrobku.

2.3.2 Skluzný žlab

Ve třídící stanici jsou kolmo k dopravníku umístěny paralelně tři skluzné žlaby (obr. 2.5 - pozice 3), do kterých jsou uloženy roztríděné obrobky. Detekci obrobku ve všech skluzných žlabech snímá jeden reflexní optický snímač, který zároveň monitoruje kritický stav naplnění žlabů. Konce skluzných žlabů jsou osazeny zarážkou, která umožňuje skladování až pěti obrobků ve skluzném žlabu. S možností odstranění mechanické přepážky se naskýtá příležitost dopravovat obrobky dále a výrobní proces tak rozšířit. Díky variabilnímu ukotvení žlabů lze navíc nastavit jejich sklon a tím by se případný proces rozšíření výrazně zjednodušil.



Obrázek 2.4: Používané typy obrobků s víčky [8]



Obrázek 2.5: Model třídící stanice Festo [9]

Legenda

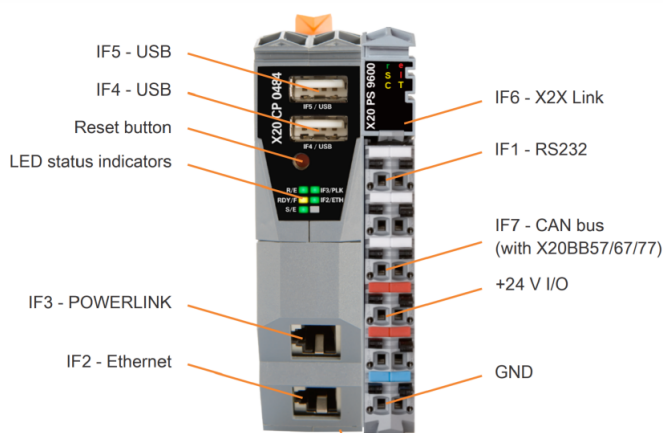
1. Detekční modul
2. Dopravníkový modul
3. Skluzný žlab
4. Montážní deska

3 Řídicí systém

Řídicí systém stanic je realizován na platformě firmy B&R Automation. Firma B&R Automation byla vybrána z důvodu předchozí zkušenosti s jejich produkty a díky spolupráci firmy B&R Automation s naší univerzitou. Firma B&R nabízí rozsáhlé portfolio prvků automatizační techniky, čímž odpadá nutnost použít produkty různých výrobců a nehrozí tak problémy spojené s nekompatibilitou. Za další výhodu systému od firmy B&R lze považovat jeho kompaktnost a cenu ve srovnání s jinými výrobci automatizační techniky.

3.1 Programovatelný logický automat

Základ řídicího systému tvoří PLC automat. Jeho řídicí jednotka X20CP0484 (obr. 3.3 - pozice 6) spadá pod systém X20 Compact-S. Tato jednotka je vybavena procesorem ARM Cortex A9 s taktem 667MHz, RAM pamětí o velikosti 256 MB a pamětí typu Flash o velikosti 2 GB, kde je uložen řídicí program. Konektivitu zajišťují dva USB porty, Ethernet 100 Mbit a POWERLINK. Pro diagnostické účely slouží stavové LED, které indikují napájení, provozní mód řídicí jednotky, přítomnost komunikace na sběrnici Ethernet a POWERLINK. Více informací o jednotce CPU je k nalezení na stránkách výrobce [10].



Obrázek 3.1: Řídicí modul X20CP0484 s napájecím modulem X20PS9600 [11]

3.1.1 Napájecí modul

Napájecí modul (obr. 3.3 - pozice 7) slouží k napájení jednotlivých částí řídicího systému. Do napájecího modulu je přivedeno napětí 24 V DC z externího zdroje a toto napětí je následně rozvedeno linkou X2X do všech ostatních částí řídicího systému. Díky tomu odpadá nutnost propojení modulů pomocí dalších vodičů a je tak zajištěna dostatečná modularita. Více o napájecím modulu je k nalezení zde [12].

3.1.2 Bus modul

V bus modulu je usazena řídicí jednotka, napájecí modul a další rozšiřující karty. Bus modul zajišťuje napájení a vzájemnou komunikaci jednotlivých částí řídicího systému. Takováto koncepce řídicího systému umožňuje rychlé servisní zásahy a snadné rozšíření stávající konfigurace.

3.1.3 Modul digitálních vstupů

Účelem modulu digitálních vstupů je příjem diskrétních signálů ze snímačů či jiných periférií. Modul rozlišuje signál v podobě logická „1“, jemuž náleží potenciál 24 V DC a logická „0“, který pracuje s potenciálem 0 V. V použité konfiguraci stanic se pro příjem digitálních vstupních signálů používá modul X20DIF371 (obr. 3.3 - pozice 8). Tento modul disponuje 16 vstupy a pro připojení signálů je použit konektor X20TB1F, který se používá jako 16 pinová nástavba k rozšiřujícím modulům. Hlavní výhodou této koncepce spočívá v bezšroubkové instalaci vodičů a v případě potřeby výměny vadného modulu stačí vyměnit samotný modul a není třeba jakkoliv zasahovat do připojených vodičů. Modul je vybaven indikačními LED zobrazujícími aktuální stav vstupů. Detailnější specifikaci a popis modulu lze nalézt zde [13].

3.1.4 Modul digitálních výstupů

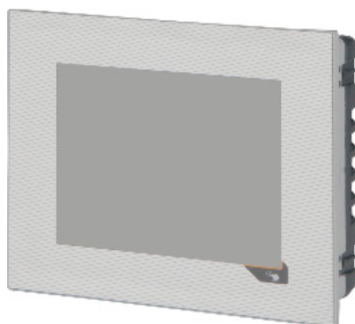
Modul digitálních výstupů X20DOF322 (obr. 3.3 - pozice 9) slouží k odesílání signálů k akčním členům případně dalším perifériím. Signály, které výstupní modul odesílá mají podobu logické „1“ a logické „0“. K těmto signálům náleží potenciálové úrovně 24 V DC a 0 V. Podobně, jako na kartě digitálních vstupů, se i zde pro připojení vodičů používá konektor X20TB1F. Indikační LED na čelní straně informují o aktuálním stavu výstupů. Detailnější popis modulu lze nalézt zde [14].

3.1.5 Modul analogových vstupů

Modul analogových vstupů X20AI2622 se nachází pouze v konfiguraci měřicí stanice. V měřicí stanici je použit snímač, jehož výstupem je analogový signál. Modul pracuje se vstupním napěťovým signálem v rozsahu ± 10 V nebo s proudovým signálem 0 až 20 mA případně 4 až 20 mA. Výstupem pro řídicí jednotku je hodnota datového typu INT s rozlišením 13 bitů. Detailnější specifikaci a popis modulu lze nalézt na stránkách výrobce [15].

3.2 HMI rozhraní

HMI slouží jako komunikační prostředek mezi strojem a člověkem. Typicky zastává formu vizualizačního panelu, ve kterém je nahraný program, jež umožňuje interakci se stanicí, případně jiné úkony. Použitý panel 6PPT30.0573-20W disponuje displejem o velikosti 5,7 palce, dále disponuje procesorem ARM Cortex-A8 a pamětí RAM o velikosti 512 MB. Rozlišení displeje činí 640x480 (VGA) a funguje na odporovém principu. Konektivita panelu zajišťují 2 Ethernet porty 10/100 Mbit/s (integrováný switch) a 2 porty USB 2.0. Detailnější popis HMI panelu je k nalezení zde [16].



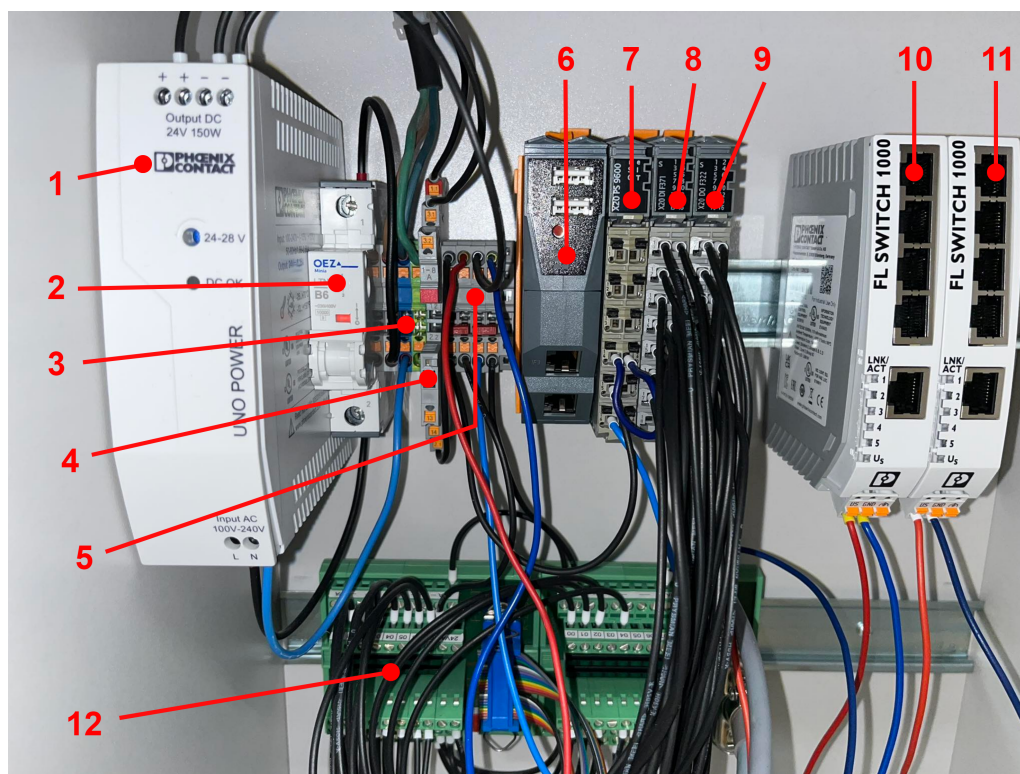
Obrázek 3.2: HMI panel [16]

3.3 Napájení

Napájení řídicího systému zajišťuje spínaný zdroj od firmy PHOENIX CONTACT (obr. 3.3 - pozice 1). Rozsah vstupního napětí činí 85 až 264 V AC. Výstupní napětí 24 V DC je možné v případě potřeby trimrem nastavit od 24 do 28 V DC. Zdroj dokáže dodávat trvalý proud až 6,25 A a výkon až 150 W. Více informací o použitém zdroji je k nalezení zde [17].

3.4 Switch

Vhledem k požadavku vzájemné komunikace stanic pomocí rozhraní Ethernet a POWERLINK bylo nutné rozšířit elektroinstalaci stanic o dva Ethernetové switche FL 1005N (obr. 3.3 - pozice 10 a 11). Jeden ze switchů se využívá pro komunikaci po sběrnici Ethernet, jejíž jediným účelem je zjednodušení tvorby řídicího programu bez nutnosti fyzicky přepojovat kabel do příslušné jednotky CPU. Druhý switch je použit pro zajištění komunikace prostřednictvím sběrnice POWERLINK. Tato komunikace je již nezbytná pro správnou funkci stanic, resp. pro korektní předání obrobku mezi stanicemi. Pro POWERLINK komunikaci by bylo vhodnější namísto switche použít hub kvůli možnému časovému zpoždění. Vzhledem k zamýšlenému použití stanic, které je pouze demonstrační, však nebude použítí switche v tomto ohledu působit komplikace. Více o použitém switchi je k nalezení zde [18].



Obrázek 3.3: Elektroinstalace stanice Festo MPS

Legenda

1. Zdroj Phoenix Contact 24 V DC 6,25 A DC
2. Hlavní jistič OEZ LTN-B6
3. Přívodní svorkovnice
4. Pojistková svorkovnice 24 V DC
5. Svorkovnice pro rozvod potenciálu 24 V DC a GND
6. CPU X20XP0484
7. Napájecí modul X20PS9600
8. Karta digitálních vstupů X20DIF371
9. Karta digitálních výstupů X20DOF322
10. Switch FL 1005N pro Ethernet komunikaci
11. Switch FL 1005N pro POWERLINK komunikaci
12. Svorkovnice pro připojení fyzických I/O k rozšiřujícím modulům

4 Software

4.1 Automation studio

Automation Studio je vývojové prostředí vyvinuté firmou B&R Automation a umožňuje tvorbu řídicích algoritmů. Výrobce se snažil přijít s komplexním softwarem, který by umožňoval řízení pohonů, tvorbu vizualizace, možnost simulace a mnoho dalšího bez nutnosti přídavného softwaru. Místo nejznámějšího konkurenčního software zastává TIA Portal od firmy Siemens. Detailnější informace a možnosti využití vývojového prostředí Automation Studio jsou k nalezení zde [19].

4.1.1 Podporované programovací jazyky

Vývojové prostředí AS umožňuje použití různých programovacích jazyků spadajících do normy IEC 61131-3. Umožňuje však použití i alternativních jazyků nad rámec normy IEC 61131-3. Jednotlivé jazyky jsou popsány níže. Detailnější informace a srovnání programovacích jazyků je k nalezení v následujících odkazech [20][21].

- **Ladder Diagram**

Grafický programovací jazyk vycházející z reléové logiky. Jednotlivá liniová schémata se dělí na logické celky tzv. networky. Přehlednost a srozumitelnost tohoto jazyka ho činí takřka nejpoužívanějším, co se průmyslu týče. Je to zcela pochopitelné, jelikož se v tomto jazyce dokáže zorientovat i méně kvalifikovaný personál. Implementace složitějších programových konstrukcí je ale mnohdy obtížnější než u jiných programovacích jazyků.

- **Function Block Diagram**

Další z řady grafických programovacích jazyků. Tento jazyk používá symboly a funkce, které vychází z booleovské algebry. Díky grafické interpretaci jednotlivých funkcí pomocí bloků označených známými symboly je jazyk vhodný pro začátečníky, či méně znalé.

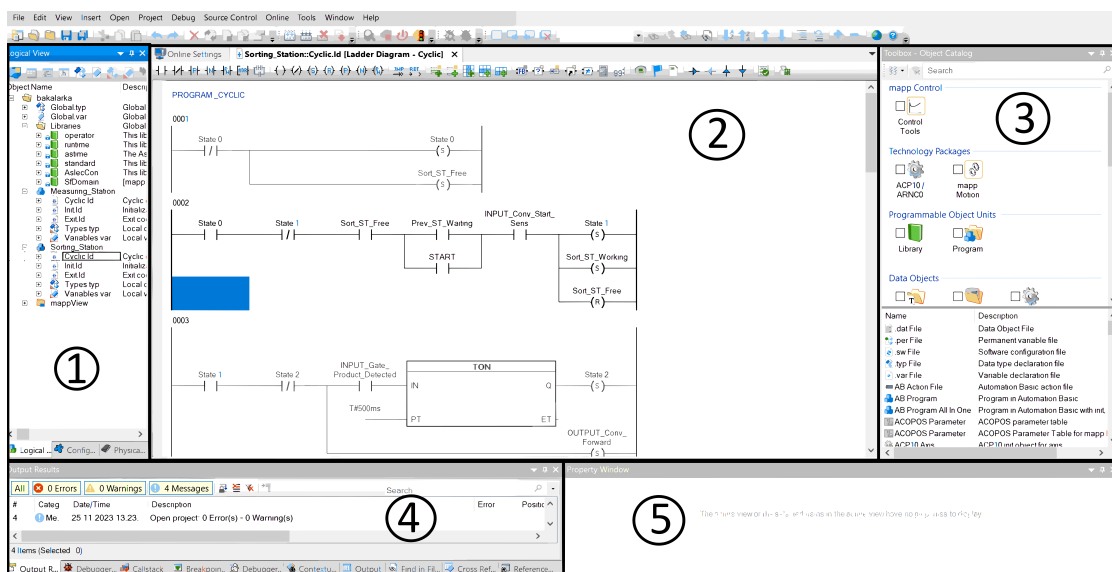
- **ANSI C**

Jedná se o jazyk, který podléhá řadě standardů, které uveřejnila Americká organizace American National Standards Institute. Syntaxe i sémantika je totožná s jazykem C. Jazyk ANSI C nespadá do normy IEC 61131-3, nicméně se těší oblibě značného množství programátorů.

- **Sequential Function Chart**
Grafický programovací jazyk, jehož grafická podoba vychází z tzv. Petriho sítí [22]. Samotný program se skládá z jednotlivých kroků a přechodů, neboli tranzičních podmínek. Krok reprezentuje stav systému a má k sobě přiřazen blok akcí, tj instrukcí. Jsou-li splněny tranziční podmínky, dojde k přechodu z jednoho kroku do dalšího. Jazyk umožňuje větvení toku programu, spojování větví, či paralelní souběh více větví. Jazyk najde využití v řízení úloh sekvenčního charakteru a díky své jednoduché interpretaci podobné stavovému diagramu je vhodný pro začátečníky.
- **Continuous Function Chart**
Tento grafický jazyk nespadá do normy IEC 61131-3 a vychází z jazyka FBD. Zatímco jazyk FBD je tvořen z networků, jazyk CFC umožňuje umístit jednotlivé bloky libovolně a zároveň umožňuje tvorbu zpětných smyček, což jazyk FBD nedovoluje. Z tohoto tvrzení je patrné, že tvorba programu je v jazyce CFC v jistém ohledu snazší a přehlednější než u jazyka FBD.
- **Instruction List**
Jazyk Instruction List se řadí k textovým programovacím jazykům normy IEC 61131-3. Tento jazyk lze také chápat jako seznam instrukcí a je obdobou jazyka Assembler. Použití tohoto jazyka je na ústupu a je nahrazován uživatelsky přívětivějšími programovacími jazyky.
- **Structured Text**
Jazyk Structured text patří mezi vyšší programovací jazyky splňující požadavky normy IEC 61131-3. Jazyk ST vychází z jazyků Pascal a C a jako takový je objektově orientovaný. Navíc jazyk ST obsahuje všechny důležité prvky moderního programovacího jazyka. Tyto predispozice z něj činí účinný nástroj pro tvorbu náročných algoritmů a složitých funkčních bloků. Jazyk umožňuje snadnou práci s textovými řetězci a databázemi. Nevýhodou je horší přehlednost operací a toku programu.
- **C++**
Další z vyšších programovacích jazyků, který je objektově orientovaný a umožňuje tvorbu složitějších mechanismů, jako například zpracování a ošetření výjimek.
- **Automation Basic**
Vyšší programovací jazyk, který se nápadně podobá strukturovanému textu. Uživatelům se na něj snadněji zvyká kvůli jednodušší syntaxi.

4.1.2 Prostředí AS

Rozložení plochy vývojového prostředí AS je následovné. V levé části je umístěn průzkumník projektu, jež slouží pro správu objektů používaných v projektu. V prostřední části se nachází okno, resp. pracovní plocha, která slouží k provádění hlavních úkonů programátora. V pravé části prostředí AS se nachází okno s názvem Toolbox, pomocí kterého lze do projektu importovat funkce, knihovny, hardwarové moduly a jiné větší funkční celky. Okno Debug ve spodní části zobrazuje informace o vzniklých chybách a varování při kompilaci projektu. Pomocí těchto informací pak může programátor vzniklou chybu opravit. V pravém spodním rohu se nachází okno vlastností, které nám umožňuje zasáhnout do konfigurace označeného prvku v projektu.



Obrázek 4.1: Struktura vývojového prostředí Automation Studio

Legenda

1. Průzkumník projektu
2. Pracovní plocha
3. Panel objektů
4. Debug okno
5. Okno vlastností

4.1.3 Diagnostické nástroje

Mezi užitečné funkce vývojového prostředí AS patří nepochybně simulace, díky které lze otestovat funkčnost algoritmu bez nutnosti použití hardwaru. Samotná simulace je sice spuštěna ve virtualizovaném prostředí, ale její výstupy jsou shodné s reálným řídicím systémem. Mezi další užitečné funkce AS z hlediska testování patří funkce Monitor a Watch. Funkce Watch umožňuje zobrazení aktuální hodnoty jednotlivých proměnných v reálném čase. Funkce Monitor se liší oproti funkci Watch tím, že kromě aktuální hodnoty proměnných zobrazuje i tok programu. Programátor tak bez větších obtíží vizuálně odhalí, jaká část programu je aktuálně vykonávána.

4.2 VNC Viewer

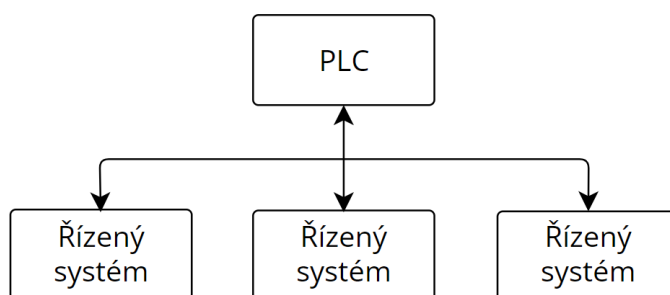
Program VNC Viewer se využívá ke vzdálenému připojení k HMI panelu prostřednictvím lokální sítě či sítě Internet. Software pracuje v režimu klient-server, přičemž server vytváří grafickou plochu a klient tuto plochu zobrazuje. Hlavní výhodou použití tohoto softwaru tkví v tom, že není třeba fyzická přítomnost programátora u HMI panelu při testování vizualizace. Těto výhody můžeme využít ve fázi vývoje řídicího algoritmu. Stejně tak je ale možné klienta VNC využít u již fungujícího systému k ovládní vizualizace. K realizaci spojení stačí předat VNC klientovi IP adresu z PLC. Více informací o softwaru VNC a o způsobech jeho využití je k dispozici na následujících odkazech [23][24].

5 Způsoby komunikace a řízení

Aby vznikla cílová výrobní linka, je nezbytné spojit výrobní stanice do jednoho celku a zajistit vzájemný přenos dat. Druhy řízení a metody, jakými lze vzájemnou komunikaci realizovat, budou diskutovány na následujících řádcích. Více informací o způsobech komunikace a řízení systémů je k nalezení zde [25].

5.1 Centralizované řízení

Tento druh řízení obsahuje jeden hlavní prvek, který zajišťuje všechny řídicí aktivity. K hlavnímu prvku jsou přivedeny potřebné technologické signály. Použití centralizovaného řízení přináší řadu výhod. Předně, údržba takového systému je jednodušší, stejně tak návrh aplikačních programů. Bohužel takto koncipovaný systém má omezenou kapacitu a jeho strukturu nelze rozšiřovat neomezeně. Pokud navíc dojde k závadě na centrálním prvku, následky takové poruchy způsobí kolaps celého systému.

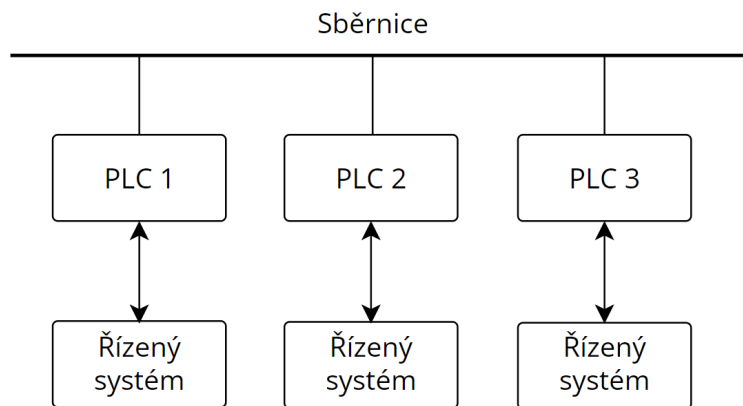


Obrázek 5.1: Struktura systému s centrálním řízením

5.2 Distribuované řízení

Distribuované řízení je složeno z dílčích celků, jež jsou vzájemně propojeny komunikační sběrnici. Tyto celky se pak podílejí na řízení. Klesající cena zařízení disponujících procesorem a vznik výkonných a spolehlivých sběrnic zapříčinily hromadné

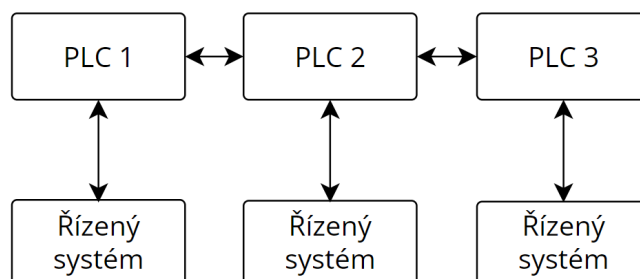
nasazení distribuovaného řízení. Distribuované řízení umožňuje výstavbu složitých systémů s vyšší výkonnostní možností, úsporu kabeláže a jednodušší odladování algoritmu. Takový algoritmus bývá rozložen a může být tedy upravován v jednotlivých částech systému. Je zřejmé, že komunikace mezi jednotlivými prvky je stěžejní a přímo na ní závisí kvalita řízení.



Obrázek 5.2: Struktura systému s distribuovaným řízením

5.2.1 Liniová topologie

Pokud provedeme drobnou modifikaci distribuovaného řízení, pak výsledkem bude vznik liniové topologie, kde pomocí signálu z určité části systému dojde k přepnutí řízení na následující část. Tento druh komunikace není tolik náročný na implementaci a vzhledem k modulárnosti stanic Festo MPS se jeví jako nejvhodnější volba. Pro výrobní linku bude tedy realizována komunikace s liniovou topologií, jelikož se zde nevyskytuje žádné větší omezení a rozložení stanic může být zcela libovolné. Komunikace musí být ovšem zrealizována vhodným způsobem. Zde se nabízí využít propojení pomocí zdířek umístěných na ovládacím panelu. Dále je možné použít některou ze sběrnic, kterou disponují CPU jednotky použité v řídicím systému stanic.



Obrázek 5.3: Struktura systému s liniovou topologií komunikace

5.2.2 Propojení diskrétními vodiči

Komunikaci realizovanou pomocí vodičů a zdírek na ovládacím panelu lze považovat za nejjednodušší variantu. Zdířky, jež jsou připojené ke vstupní či výstupní kartě příslušného PLC, se propojí jednotlivými vodiči. Pakliže je komplexita výrobního procesu velmi malá, při použití této metody pravděpodobně nenastane žádné omezení. Na stanicích se tato varianta používá zejména kvůli již zmíněné jednoduchosti a LED indikaci pro názornost.

Ve většině případů je ale výrobní proces rozsáhlý a tato varianta by nebyla dostačující. Proto se jako vhodnější řešení nabízí použití některé z komunikačních sběrnic. Jednotka CPU disponuje dvěma 100 megabitovými Ethernet porty, které lze pro účely komunikace využít. První z portů zastává funkci standardní Ethernet sběrnice. V projektu lze tomuto portu přiřadit libovolný protokol, který je obsažen v konkrétní knihovně. Druhý z portů má funkci sběrnice POWERLINK. Tato sběrnice bude díky svým specifickým vlastnostem použita pro zajištění vzájemné komunikace stanic. Detailnější popis sběrnice Ethernet a POWERLINK se nachází v následující části kapitoly.

5.2.3 Ethernet

Sběrnice Ethernet se používá pro komunikaci již několik dekad. Komunikace mezi účastníky je realizována pomocí modelu klient-server nebo metodou peer-to-peer. Typicky se pro komunikaci používá protokol TCP/IP [26]. O řízení provozu na sběrnici se pak stará např. algoritmus CSMA/CD [27]. Standardní Ethernet používající protokol TCP/IP používá nedeterministické metody přístupu na síť a může tedy docházet ke kolizím, tudíž je pro průmyslové aplikace nevhodná. Tento neduh dal vzniknout modifikovaným protokolům a dalším opatřením vedoucím k vyšší determinističnosti sítě. Více informací o problematice použití Ethernetu v prostředí průmyslu je k nalezení zde [28].

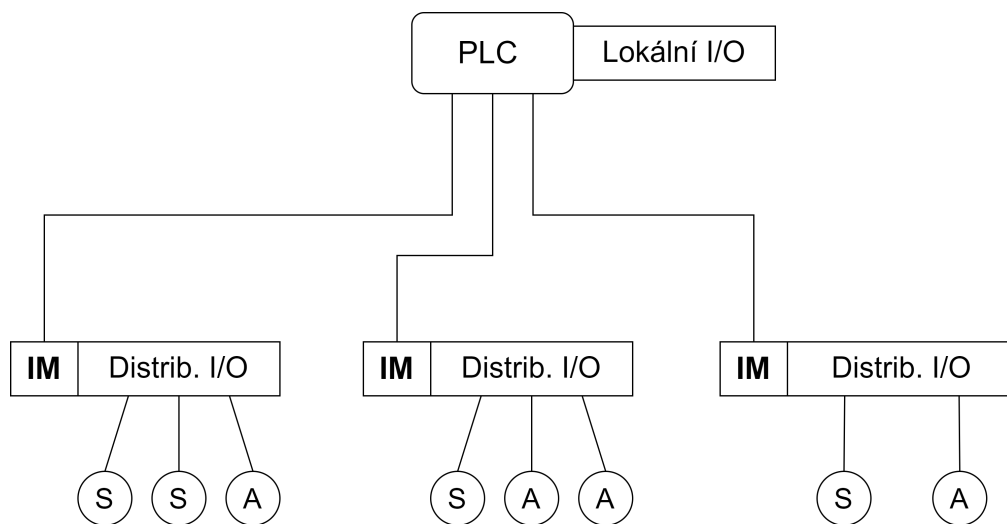
5.2.4 Ethernet POWERLINK

Ethernet POWERLINK se řadí mezi sběrnice používané pro řízení v reálném čase. Tato sběrnice byla představena společností B&R Automation a následně přijata jako standard organizací EPSG (Ethernet POWERLINK Standardization Group). Ethernet POWERLINK přebírá vlastnosti z původního Ethernetu, tudíž není zapotřebí speciálního hardwaru. Využívá ale důsledné časové rozdělení přenosového cyklu na část cyklickou pro přenos časově kritických dat a na část acyklickou pro přenos časově nekritických dat pomocí protokolu IP. Vlastní síť pak používá rozšířený model komunikace Master/Slave, kde jsou účastníci v roli Managing Node a Controlled Node. V síti se může nacházet až 254 účastníků v roli CN a jeden účastník v roli MN. Každý účastník má přesně vymezenou dobu, po kterou může komunikovat s jedním případně vícero účastníky naráz. Tímto principem se zabrání možnosti kolize. Detailnější popis sběrnice POWERLINK se nachází zde [29].

5.3 Distribuované IO

Tento typ řízení využívá jednu standardní CPU jednotku, typicky rozšířenou o další moduly. Kromě rozšiřujících modulů klasické koncepce je však k CPU jednotce připojeno množství dalších periférií pomocí tzv. periferní jednotky. Komunikaci mezi periferní jednotkou a CPU jednotkou je možné realizovat za pomoci některé ze sběrnic, kterou disponuje jednotka CPU. Samotné periferie jsou fyzicky připojeny k I/O modulům, které náleží ke specifické periferní jednotce. Celkovou strukturu tohoto typu řízení zachycuje obrázek 5.4 níže.

Tato kombinace distribuovaného a centralizovaného řízení je nezdědka používaná a přináší řadu výhod. Periferní jednotky s I/O moduly mohou být instalovány v těsné blízkosti snímačů a akčních členů. Tím se minimalizuje délka připojovací kabeláže, čímž se sníží výrobní náklady. Celková elektroinstalace je přehlednější a prostorově úspornější, což umožňuje její jednodušší diagnostiku a případné modifikace. Použití periferních jednotek místo standardních jednotek CPU navíc přinese další úsporu nákladů a zjednodušení řídicího systému. Pokud ale bude řízený proces rozsáhlý, pravděpodobně bude tento typ řízení nedostačující. Realizace řídicího algoritmu pro takový proces by byla velmi náročná a při poruše CPU jednotky by mohl nastat kolaps. Více informací o konceptu distribuovaných I/O je k nalezení zde [30].



Obrázek 5.4: Struktura řídicího systému se vzdálenými I/O

Legenda

1. IM - Periferní jednotka
2. S - Snímač
3. A - Akční člen

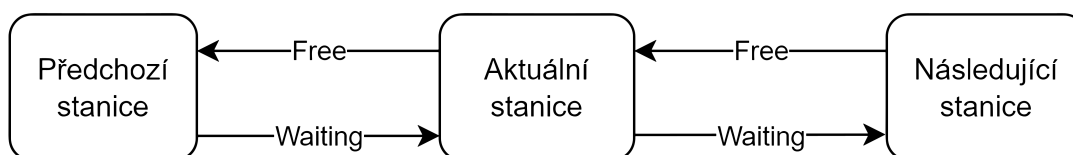
6 Realizace výrobní linky

6.1 Komunikační propojení stanic

Propojení jednotlivých stanic je realizováno jako distribuovaný řídicí systém s liniovou topologií viz kapitola 5.2.1. Předávání informací mezi stanicemi lze provést dvěma způsoby. První možností je využití diskretních vstupů a výstupů předpřipravených již od výrobce. Druhou možností je pak komunikace přes sběrnici POWERLINK. Je na uvážení obsluhy, pro který způsob komunikace se rozhodne. Funkce linky bude shodná, ať už je zvolen první nebo druhý způsob komunikace, dochází totiž k výměně stejných dat potřebných pro správnou funkci linky. Schéma komunikace je zachyceno na obrázku 6.1 níže.

Samostatná stanice používá ke komunikaci dva hlavní stavy, ve kterých se může nacházet, a to stav **Free** a stav **Waiting**. Stav **Free** implikuje, že je stanice připravena převzít obrobek od předchozí stanice a začít další cyklus. Do stavu **Waiting** se stanice dostane na konci cyklu po dokončení procesu a v tomto stavu setrvává do doby, než je následující stanice schopna převzít obrobek.

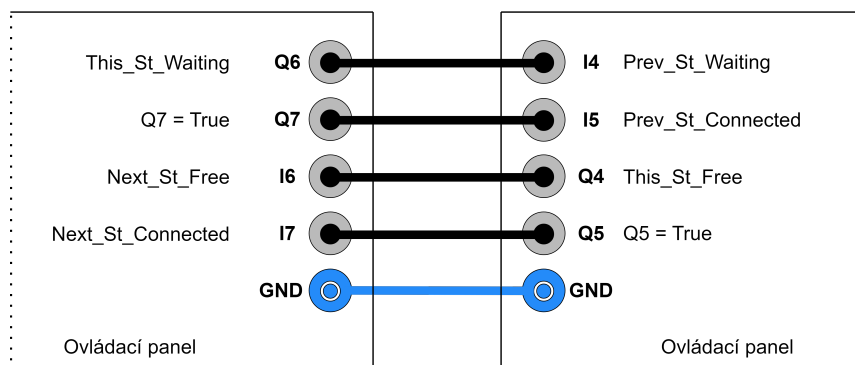
Stanice jako takové lze používat i samostatně bez připojení signálů, jelikož pro předávání obrobku z jedné stanice do druhé musí být signál **Free** resp. **Waiting** v logické „1“, což při přerušení komunikace nenastane. Stejně tak je možné využívat komunikaci pomocí sběrnice POWERLINK a pomocí diskretních I/O souběžně. Toto propojení nezpůsobí kolizi stanic a v případě výpadku jednoho typu komunikace se vyhodnocují signály z druhého typu.



Obrázek 6.1: Schéma komunikace mezi jednotlivými stanicemi

6.1.1 Diskrétní vstupy a výstupy

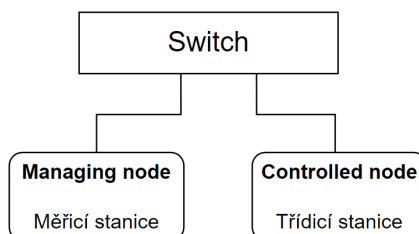
Použití diskretních I/O na ovládacím panelu 2.1.2 představuje nejjednodušší možnou metodu komunikace stanic za předpokladu, že všechny stanice používají stejnou část řídicího algoritmu pro přebírání a předávání obrobku, tj. používání stavů **Free** a **Waiting** shodným způsobem. Pokud je toto splněno, je možné provozovat více spojených stanic bez jakékoliv další úpravy či konfigurace.



Obrázek 6.2: Propojení pomocí diskretních signálů na ovládacím panelu

6.1.2 POWERLINK

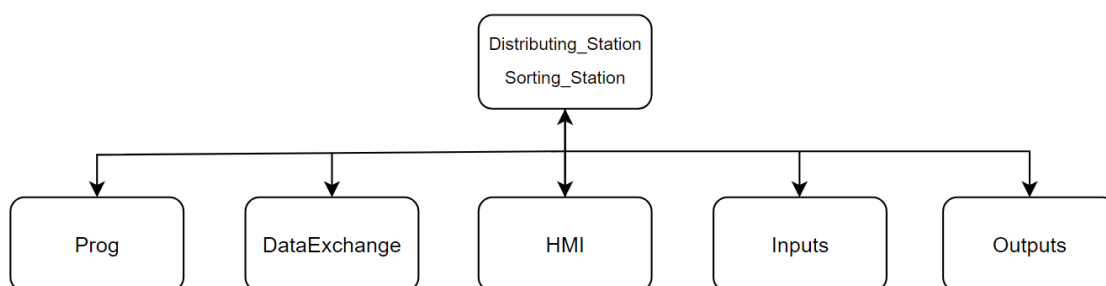
Tento typ komunikace nabízí takřka neomezené možnosti komunikace a je mnohem více komplexní ve srovnání s předešlou metodou, viz podkapitola POWERLINK 5.2.4. Toto řešení má však nevýhodu v podobě časově náročnější implementace, která si žádá úpravu hardwarové konfigurace stanic, resp. přidání dalšího prvku s názvem Intelligent controlled node z toolboxu. Je také nutné v projektu vytvořit separátní komunikační kanály, které slouží k přenosu konkrétních signálů. Komunikační kanál je ve své podstatě alternativa k propojovacímu vodiči, kterému se přiřadí konkrétní proměnné v jednotlivých stanicích. Dále je nutné přiřadit jedné stanici roli MN a ostatním stanicím roli CN. V tomto případě roli MN zastává měřicí stanice a role CN je přiřazena třídící stanici. Po fyzické stránce už jen zbývá připojit stanice na jednu sběrnici za pomoci standardní kroucené dvoulinky. Jako páteřní prvek je zde použit průmyslový switch. Na obrázku níže je znázorněno schéma propojení stanic.



Obrázek 6.3: Struktura komunikace pomocí sběrnice POWERLINK

6.2 Řídící algoritmus

Základním krokem při vytváření programu bylo vhodné navržení datové struktury proměnných. Volba struktury má přímý vliv na celkovou přehlednost finálního programu, proto je důležité k ní přistupovat s rozmyslem již na samém začátku. Použité stanice, tj. měřicí a třídící stanice, jsou v projektu označeny názvem `Measuring_Station` a `Sorting_Station`. Celková struktura proměnných je pro obě stanice shodná a je zachycena na obrázku níže.



Obrázek 6.4: Společná struktura proměnných pro stanice

Skupina proměnných typu `Inputs` obsahuje proměnné, jež jsou namapovány na fyzické vstupy, což zahrnuje signály ze snímačů a signály z fyzických tlačítek na ovládacím panelu. Typ `Outputs` obsahuje proměnné, kterým je přiřazen konkrétní výstup. Tyto proměnné mají za úkol řídit akční členy stanice a indikační led na ovládacím panelu. Proměnné spadající pod typ `HMI` slouží k ovládání chodu stanice prostřednictvím vizualizačního panelu, případně slouží jako pomocné proměnné nezbytné ke správné funkci vizualizace jako takové. Proměnné s datovým typem `DataExchange` jsou použity ke vzájemné komunikaci stanic a korektnímu předání obrobku. Proměnné tohoto typu slouží ke správné komunikaci realizované sběrnici POWERLINK, ale i ke komunikaci pomocí diskretních vodičů. Poslední datový typ `Prog` obsahuje pomocné proměnné, které se podílí na chodu programu a jsou nutné pro jeho správnou funkci. Detailnější popis funkce proměnných je k nalezení v Dokumentaci, která je součástí přílohy.

Po navržení struktury proměnných byly v projektu vytvořeny dvě hardwarové konfigurace. Rovněž byly provedeny nezbytné úpravy pro možnost komunikace přes sběrnici POWERLINK. Provedené úpravy jsou popsány v kapitole 6.1.2. Dalším krokem bylo vytvoření řídicího algoritmu, jehož popis a funkce bude vysvětlena v následující části této kapitoly.

6.2.1 Společná část algoritmu

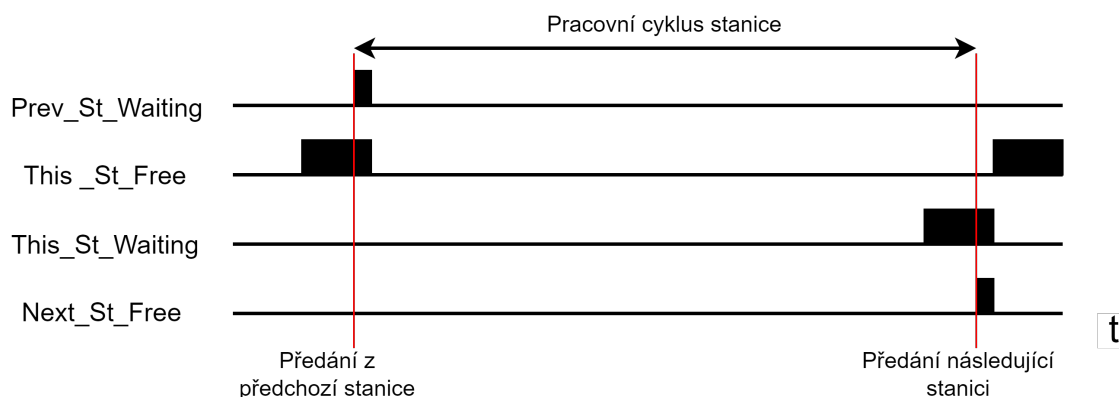
Celý proces tvorby programu probíhal ve vývojovém prostředí AS 4.1. Program je koncipován tak, aby bylo umožněno ovládání stanice pomocí ovládacího panelu 2.1.2, nebo prostřednictvím HMI 3.2, kterým lze řídit stanice v automatickém, i v manuálním režimu. HMI panel navíc slouží k indikaci chybových stavů a provádění základní diagnostiky 6.3. Řídící program byl napsán v jazyce LD, se kterým mám již bohaté zkušenosti, navíc je tento druh jazyka stále nejrozšířenější, co se průmyslu týče. Vzhledem k charakteru úlohy byl algoritmus realizován jako stavový automat, kdy při každém kroku dojde k vykonání určité instrukce a při splnění patřičných podmínek dochází k přechodu na další krok. Program každé ze stanic se sestává z části inicializační a části cyklické.

V inicializační části dojde k nastavení všech akčních členů do základní polohy. Zároveň se v této části zahájí vzájemná komunikace stanic. Následně program přejde na část cyklickou.

Na začátku cyklické části má uživatel možnost volby, zda chce stanici provozovat v manuálním, či automatickém režimu. Volba provozu stanice lze nastavit na začátku každého cyklu otočným přepínačem s klíčkem. Při provozu stanice v manuálním režimu je možné ovládat akční členy prostřednictvím HMI. Manuální ovládání stanice pomocí HMI panelu je popsáno v kapitole Vizualizace 6.4.

Pokud je stanice provozována v automatickém režimu, pro započítání cyklu je třeba, aby byla stanice ve výchozím stavu, což indikuje signál **Free**, který je přijímán předchozí stanicí. Předchozí stanice, která vysílá signál **Waiting**, toto zaznamená a předá dané stanici obrobek. Cyklus je tímto započat. Po dokončení pracovního procesu aktuální stanice je vyslán následující stanici signál **Waiting** a v okamžiku, kdy bude následující stanice připravena, vyšle aktuální stanici signál **Free**, a tím dojde k převzetí obrobku. Následně se cyklus opakuje.

Pakliže provozujeme stanici samostatně, zahájíme cyklus umístěním obrobku na začátek dopravníku a následovným stisknutím tlačítka **Start** na ovládacím panelu, případně HMI. Pracovní cyklus stanice bude stejný, jak v případě funkčního komunikačního spojení. Stanice se však nebude snažit o předání a cyklus bude ukončen, jakmile doputuje obrobek na konec dopravníku.

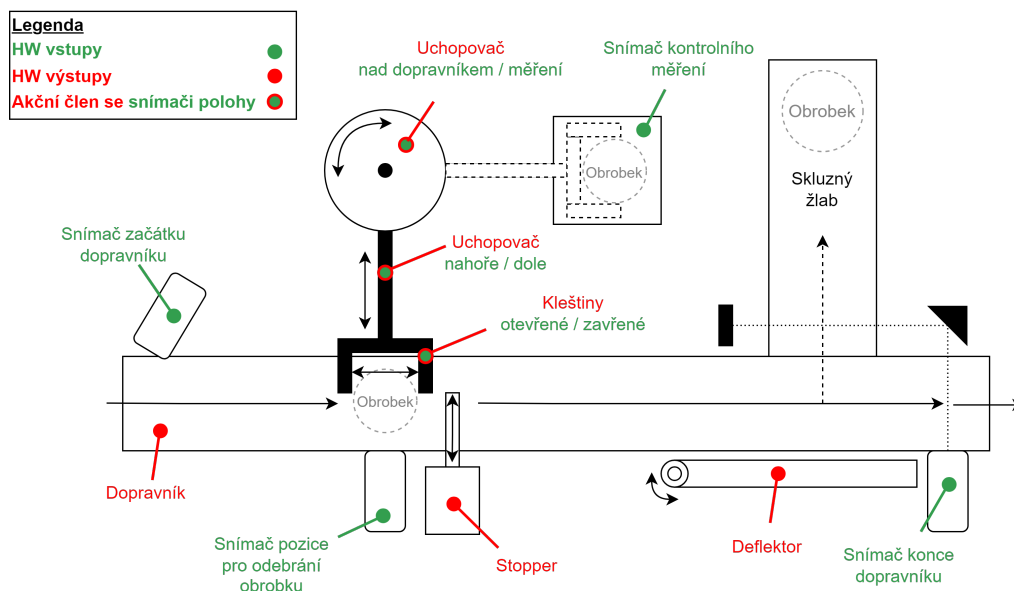


Obrázek 6.5: Časový diagram znázorňující předávací sekvence

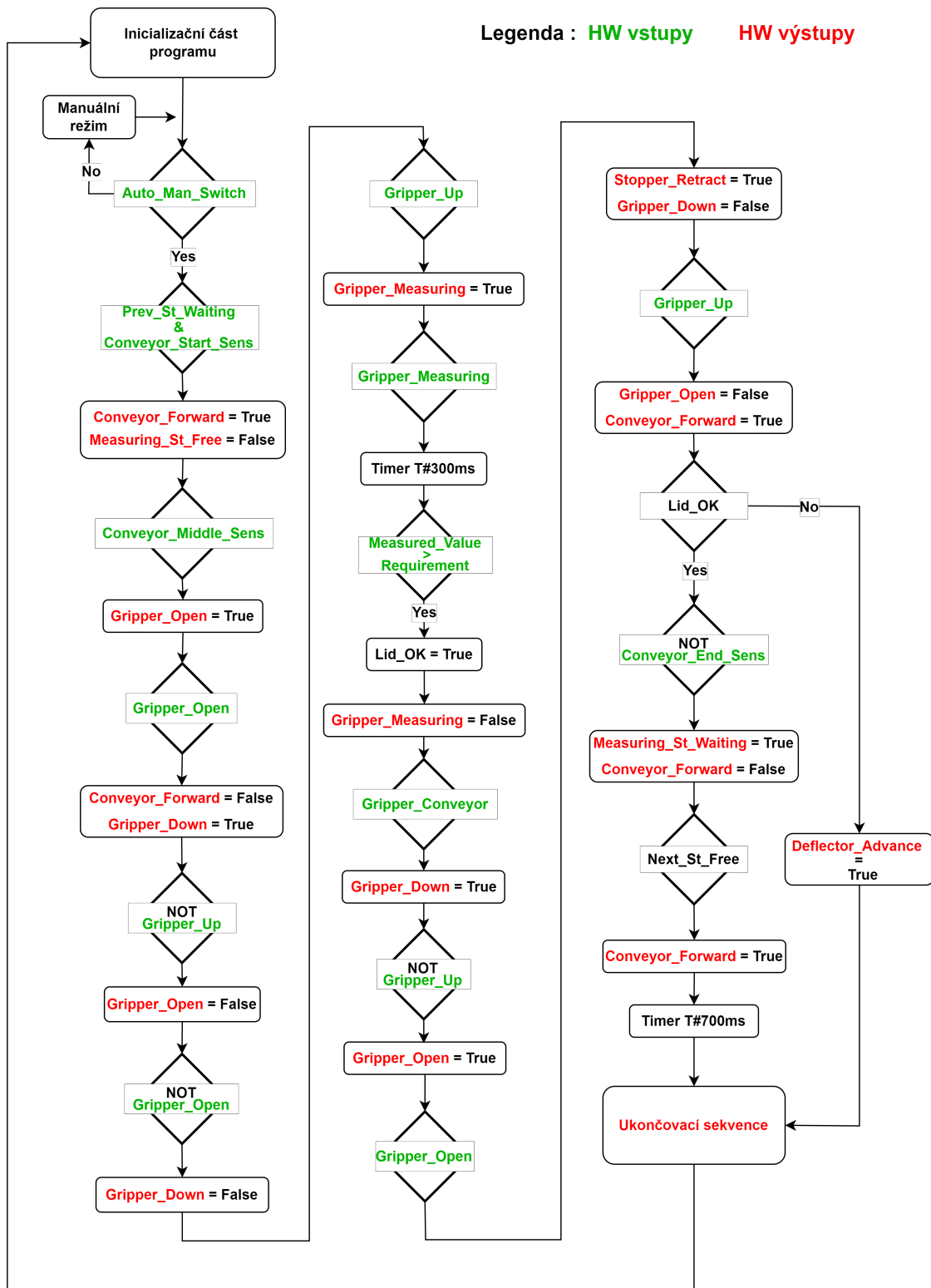
6.2.2 Měřicí stanice

Po spuštění programu proběhne jeho inicializační část 6.2.1. Po provedení inicializační části program přejde k vykonávání části cyklické, na jejímž začátku může obsluha zvolit manuální, nebo automatický režim provozu stanice. Popis funkce a náležitostí obou režimů se nachází v předešlé podkapitole 6.2.1. Na následujících řádcích bude popsán cyklus stanice provozované v automatickém režimu.

Po převzetí od předchozí stanice je obrobek přepraven do pozice pod pneumatický uchopovač. Poloha obrobku na dopravníku je zafixována stopperem tak, aby došlo ke správnému uchopení obrobku. Uchopovač následně sevře obrobek do svých kleštin, zdvihne jej, a následně obrobek přemístí do pozice měření, kde se kontrola nasazeného víčka provádí pomocí optoelektronického snímače. Podle vhodného kritéria program rozhodne, zda se na obrobku nachází víčko. Po měřící proceduře je obrobek umístěn uchopovačem zpět na dopravník. Po umístění obrobku se uchopovač vrací do své původní polohy. Zároveň v tomto kroku dochází také k zasunutí stopperu na dopravníku. Následně se dopravník rozjede a podle výsledku měření je obrobek buď nasměrován separátorem do skluzného žlabu anebo pokračuje k předání další stanici. Pokud obrobek není osazen víčkem, dojde po sklouznutí obrobku do skluzného žlabu k ukončení pracovního cyklu a uvedení stanice do výchozího stavu. Pokud je ale měřením zjištěna přítomnost víčka na obrobku, doputuje obrobek až na koncový snímač dopravníku a dochází k předání. Jestliže následující stanice není připravena na převzetí tzn. nevysílá signál Free, setrvává dopravník s obrobkem na stejné pozici, dokud není předání umožněno. Pokud jsou podmínky pro předání splněny, dojde k rozjetí dopravníku na nezbytně nutnou dobu tak, aby bylo umožněno obrobku dostat se na další pás dopravníku. Cyklus je tímto úkonem dokončen.



Obrázek 6.6: Schéma a popis prvků měřicí stanice

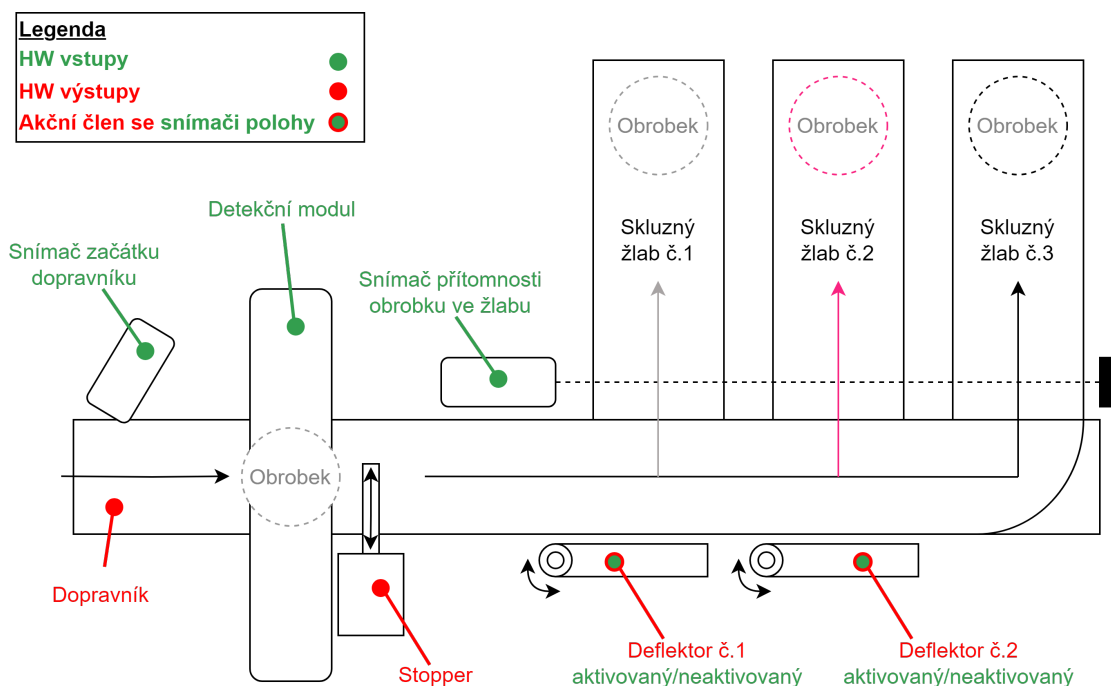


Obrázek 6.7: Vývojový diagram pracovního cyklu měřicí stanice

6.2.3 Třídící stanice

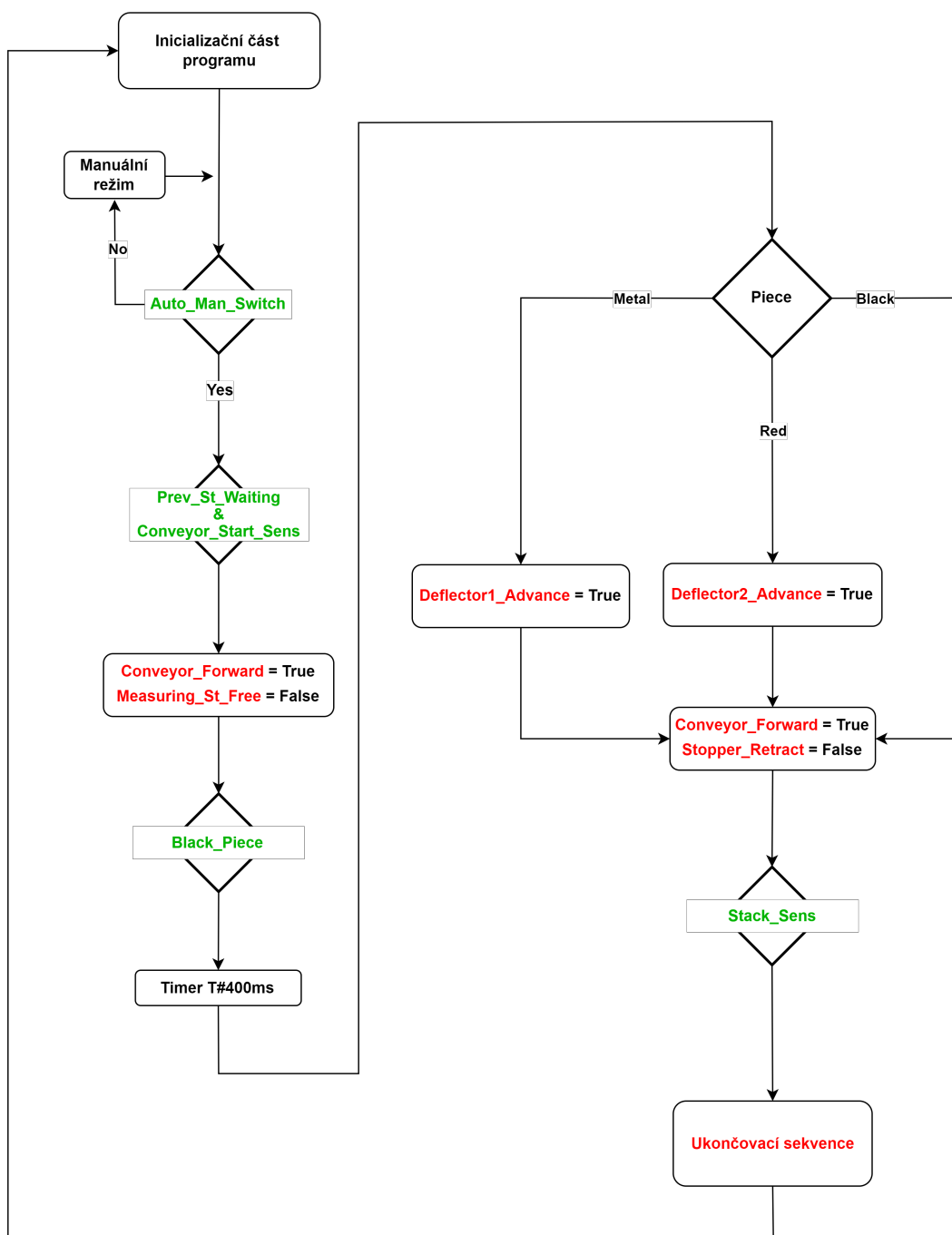
Po spuštění programu dojde k provedení inicializační části 6.2.1. Po jejím provedení program přejde na část cyklickou, na jejímž začátku může obsluha zvolit manuální, nebo automatický režim provozu stanice. Popis funkce a náležitostí obou režimů se nachází v podkapitole věnované společné části řídicího algoritmu 6.2.1. Dále bude opět jako u měřicí stanice popsán pouze cyklus v automatickém režimu.

Po předání obrobku z předchozí stanice je obrobek dopraven do pozice měření, kde dojde za pomoci trojice snímačů k rozeznání typu obrobku. Přítomnost obrobku v pozici měření zaznamená jeden ze trojice snímačů. Následně je obrobek pomocí stopperu zafixován v požadované poloze, která je pro validní výsledek měření velice důležitá. Po identifikačním procesu je stopper zasunut a obrobek je dále dopravníkem přemístěn k uskladňovacím skluzným žlabům. Každému skluznému žlabu je přiřazen konkrétní typ obrobku a pomocí dvojice separátorů proběhne třídění do patřičného žlabu. Snímačem, který je umístěn na vrchní části skluzných žlabů dostane řídicí systém informaci o korektním uložení obrobku do žlabu a cyklus je ukončen.



Obrázek 6.8: Schéma a popis prvků třídící stanice

Legenda : HW vstupy HW výstupy



Obrázek 6.9: Vývojový diagram pracovního cyklu měřicí stanice

6.3 Detekce chyb

Dlouhodobý bezchybný provoz jakéhokoliv zařízení je velmi hezká leč naivní představa. Během provozu jsou součástí zařízení vystaveny působení vnějších vlivů a podléhají určitému opotřebením. To vše spolu s možnými lidskými zásahy přispívá ke vzniku nežádoucích stavů, resp. chyb. Z tohoto důvodu byl pro stanice v rámci řídicího algoritmu vytvořen systém detekce chyb, jehož cílem je chyby včas odhalit a umožnit provoz stanice až po jejich opravě.

Chyby, ke kterým může za provozu stanic docházet, lze rozdělit na dvě hlavní kategorie. Do první kategorie spadají chyby, jejichž přítomnost se vyhodnocuje v každém cyklu zpracování programu, tedy trvale, nezávisle na aktuálním kroku programu. Mezi typické chyby tohoto druhu patří například přítomnost obrobku na více místech najednou, případně přítomnost uchopovače či pístu ve více polohách. Do druhé kategorie patří chyby, které jsou vázány ke konkrétnímu kroku programu. Ke vzniku těchto chyb dochází, pokud nějaký krok programu trvá delší než určenou dobu, např. pokud se obrobek za určitou dobu nedostane do požadované pozice, nebo pokud některý z akčních členů nedosáhne žádané polohy v určeném čase.

Jakmile řídicí systém zaznamená chybu, přejde program do chybového stavu resp. do vyhrazeného kroku. V tomto kroku se zobrazí na HMI panelu separátní chybová stránka 6.4, která má za cíl upozornit obsluhu na vzniklou poruchu. Zároveň jsou v tomto kroku zastaveny pohyby akčních členů, které vykonávají kontinuální pohyb např. dopravník. Nedochází však k návratu akčního členu do výchozí polohy, jelikož jeho pohyb by mohl mít neočekávané důsledky. Cílem při výskytu chyby je co nejdříve zastavit pohyb jakýchkoliv pohybujících se součástí. V tuto chvíli je umožněno závadu odstranit. Po odstranění závady je možné opravu potvrdit stiskem tlačítka **Potvrzení chyby** na chybové stránce na HMI panelu. V případě absence panelu je možné chybu potvrdit podržením tlačítka **Reset** po dobu tří sekund. Když je chyba potvrzena, stanice se vrací do svého původního stavu a jsou-li splněny všechny patřičné podmínky, může začít další pracovní cyklus. Popis možných chyb obou stanic, jejich možné příčiny a postup opravy budou popsány ve dvou následujících podkapitolách.

6.3.1 Měřicí stanice

Číslo chyby	Popis
1	Přítomnost obrobku na více místech
2	Obrobek se nedostal do pozice pro uchopení
3	Uchopovač se nenachází v poloze nad dopravníkem
4	Uchopovač přítomen nad dopravníkem a zároveň v pozici měření
5	Uchopovač se nenachází v horní poloze
6	Kleštiny se nezavřely
7	Kleštiny se neotevřely
8	Uchopovač se nenachází ve spodní poloze
9	Uchopovač se nenachází v pozici měření
10	Obrobek nedetekován na konci dopravníku

Tabulka 6.1: Možné chyby měřicí stanice

Chyba č. 1 upozorňuje uživatele na přítomnost více obrobků na dopravníku či na překážku, kterou je nutné odstranit. Také je zde možnost nesprávné funkce některého z optických senzorů na dopravníku. Jejich správná funkce se dá ověřit v záložce `Manual` na HMI panelu.

Chyba č. 2 hlásí nepřítomnost obrobku v blízkosti prostředního optického čidla dopravníku, kde byl očekáván. V případě, že se na dopravníku nachází překážka, je nutné ji odstranit. Je možná závada na pohonu dopravníku či porucha optického snímače. Správná funkce snímače i pohonu dopravníku se dá ověřit na HMI v záložce `Manual`.

Chyba č. 3 upozorňuje na nesprávnou polohu uchopovače, který se měl nacházet ve své základní pozici nad dopravníkem, avšak není tomu tak. Jelikož je pohon uchopovače pneumatický, je nutné ověřit přítomnost tlaku v soustavě, resp. jeho správnou velikost která musí být alespoň 2,5 baru. Pohybu uchopovače nesmí být jakkoliv bráněno. Je potřeba zkontrolovat, zdali se v trajektorii uchopovače nevyskytuje překážka. Uchopovač navíc musí chodit hladce. Pro kontrolu hladkého chodu je nutné uzavřít přívod stlačeného vzduchu a následně pohybovat s uchopovačem ručně. Dále je možná závada na snímači polohy uchopovače. Jeho kontrola lze provést v záložce `Manual` na HMI.

Chyba č. 4 dává najevo defekt některého ze snímačů polohy uchopovače. Situace, že by se uchopovač vyskytoval na více místech najednou, nemůže nastat. Je tedy nutné ověřit správnou funkci snímačů polohy uchopovače v záložce `Manual` na HMI panelu. Pro usnadnění ověření funkce snímačů je vhodné přerušit dodávku stlačeného vzduchu do stanice, aby bylo možno uchopovačem pohybovat volně.

Chyba č. 5 upozorňuje na neočekávanou polohu uchopovače v horní poloze. Možné příčiny a postup opravy jsou stejné jako u chyby č. 3.

Chyba č. 6 informuje o nesprávném uzavření kleštin uchopovače. Nesprávnou funkci kleštin může způsobit špatné uchycení obrobku, kdy nedojde ke správnému sevření. Na správnou funkci kleštin má také vliv velikost tlaku stlačeného vzduchu, čili je nutná jeho kontrola. Chod kleštin musí být hladký, bez náznaku zadržávání, proto je nutné provést kontrolu pohybu kleštin bez připojeného stlačeného vzduchu. Funkce snímače polohy kleštin lze ověřit v záložce **Manual** na HMI.

Chyba č. 7 poukazuje na problém otevření kleštin. Postup opravy a výčet možných příčin je totožný s chybou č. 6.

Chyba č. 8 a 9 značí nedosažení žádané polohy uchopovače. Příčiny chyby a její postup opravy je shodný jako u chyby č. 3.

Chyba č. 10 upozorňuje na nedokončení cyklu z důvodu nedetekování obrobku optickým snímačem na konci dopravníku. Příčiny chyby a její postup opravy je shodný s chybou č. 2.

6.3.2 Třídící stanice

Číslo chyby	Popis
1	Plný zásobník
2	Separátor 1 není v základní poloze
3	Separátor 2 není v základní poloze
4	Přítomnost více obrobků v pozici měření
5	Obrobek nedetekován v pozici měření
6	Separátor 1 není vysunutý
7	Separátor 2 není vysunutý
8	Obrobek nedetekován ve skluzném žlabu

Tabulka 6.2: Možné chyby třídící stanice

Chyba č. 1 poukazuje na zaplnění jednoho nebo více skluzných žlabů, případně mohlo dojít k uváznutí obrobku. Je nutné odebrat obrobky ze skluzných žlabů, aby byly žlaby prázdné a schopné pojmout další obrobky. Pokud nebyla chyba způsobena uváznutím obrobku v cestě paprsku snímače, pak je tu možnost selhání snímače. Funkce snímače lze ověřit v záložce **Manual** na HMI panelu.

Chyba č. 2 nastane v případě, že se první separátor nenachází v základní poloze. To může být zapříčiněno jeho uváznutím, případně defektem na snímači polohy separátoru. V prvním případě je na místě odstranění případně překážky v trajektorii separátoru a manuální zkouška hladkého chodu. Funkce snímače polohy separátoru lze ověřit v záložce **Manual** na HMI.

Chyba č. 3 indikuje, že se druhý separátor nenachází v základní poloze. Možné příčiny a postup opravy platí stejný, jako pro chybu č. 2.

Chyba č. 4 nastane, pokud se v pozici měření vyskytne více obrobků za sebou, ať už vlivem nesprávné funkce předešlé stanice či chyby obsluhy. Pro nápravu je nutné odebrat obrobky z pásu a začít nový cyklus. Chyba mohla být také způsobena nesprávně fungujícími optoelektronickými snímači. Správná funkce snímačů lze ověřit v záložce **Manual** na HMI.

Chyba č. 5 informuje obsluhu o tom, že se obrobek nedostal do pozice měření, kde je identifikován typ obrobku. Mohlo dojít k uváznutí obrobku na dopravníku, nebo mohl být obrobek shozen. Mohlo také dojít k poruše pohonu dopravníku, případně k chybě snímače detekce obrobku. Funkce snímače se dá ověřit v záložce **Manual** na HMI. Funkci pohonu dopravníku můžeme též provést v záložce **Manual**, ale při aktivním manuálním režimu stanice, případně můžeme pohon dopravníku vyzkoušet ručně za pomoci stisku tlačítka na ovládací jednotce dopravníku 2.1.1.

Chyba č. 6 značí nedosažení krajní polohy otočení prvního separátoru, čili jeho žádanou polohu, když má být aktivován. Problémem může být zaseknutí separátoru v základní poloze případně snímač polohy separátoru. Musí být zajištěna volná trajektorie separátoru, a navíc se musí separátor pohybovat zcela zvolna a bez odporu. V záložce **Manual** na HMI lze ověřit správná funkce snímače polohy separátoru a v aktivním manuálním režimu lze vyzkoušet i samotný pohon separátoru.

Chyba č. 7 značí nedosažení krajní polohy otočení druhého separátoru, čili jeho otočení tak, aby zasahoval do trajektorie pásu dopravníku. Možné příčiny a postup opravy je shodný s chybou č. 6.

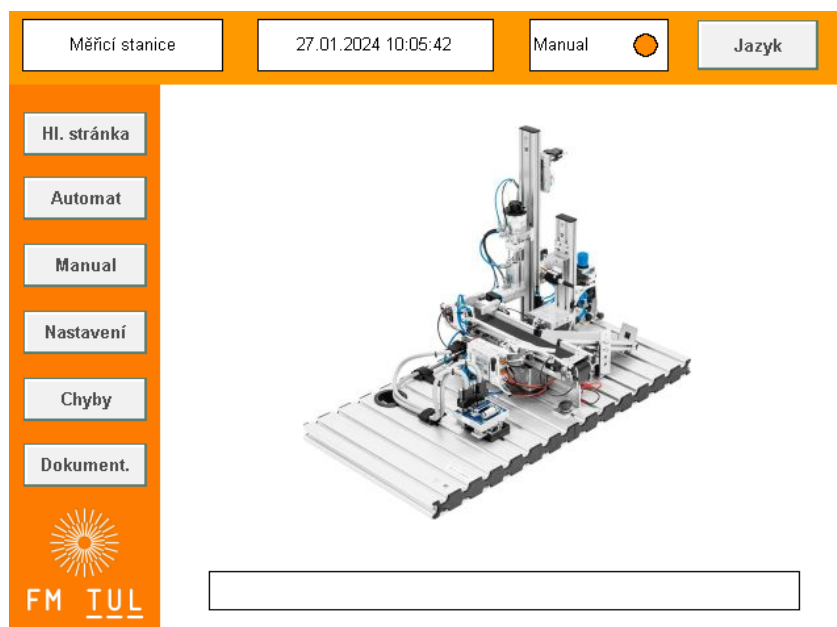
Chyba č. 8 nastane, pakliže nedojde k detekci obrobku snímačem umístěním na skluzném žlabu, jinými slovy cyklus nebyl řádně dokončen. Mohlo dojít k uváznutí obrobku na pásu dopravníku, nebo mohl být obrobek shozen. Mohlo také dojít k poruše pohonu dopravníku, případně k chybě snímače na skluzném žlabu. Funkce snímače se dá ověřit v záložce **Manual** na HMI. Funkci pohonu dopravníku můžeme též provést v záložce **Manual**, ale při aktivním manuálním režimu stanice, případně můžeme pohon dopravníku vyzkoušet ručně za pomoci stisku tlačítka na ovládací jednotce dopravníku 2.1.1.

6.4 Vizualizace

Účelem vizualizace je zlepšit možnost interakce stanice a obsluhy pomocí vizualizačního panelu. Stanice použité v projektu lze ovládat pomocí vestavěného kontrolního panelu 2.1.2, nebo právě pomocí HMI panelu 3.2, který umožňuje ovládání stanice jak v automatickém, tak i v manuálním režimu. Mezi další funkce vizualizace také patří oznámení vzniku chyby spolu s popisem možných příčin a postupem opravy. Na následujících řádcích budou popsány jednotlivé části vizualizace včetně jejich funkce.

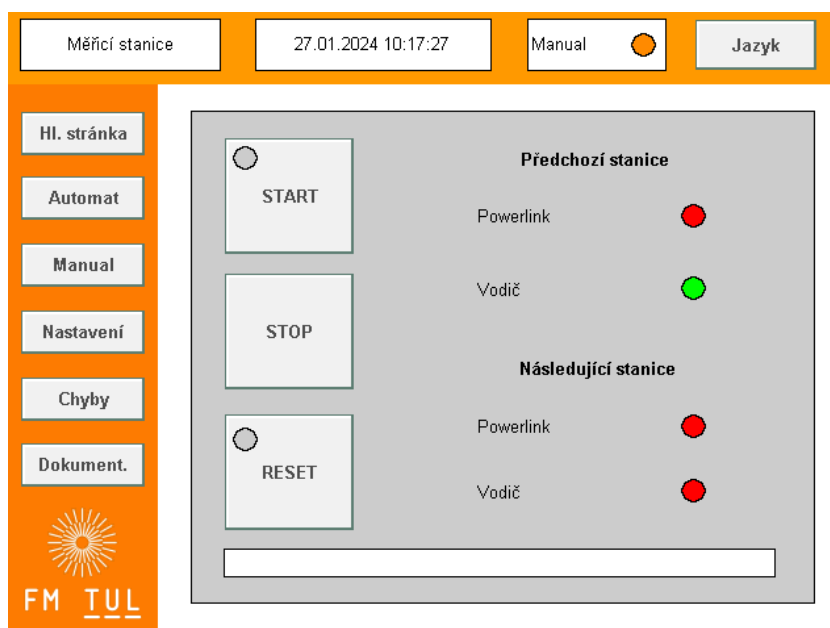
Struktura vizualizace vypadá následovně. Na levé straně a na horní straně obrazovky se nachází lišty, které jsou na svém místě pevně ukotvené. Zbylá část obrazovky slouží ke zobrazení požadované stránky. Horní lišta slouží jako informační. Obsahuje název stanice, aktuální datum, zvolený režim provozu stanice tj. automatický nebo manuální, a zvolený jazyk pro vizualizaci. Český jazyk je nastaven jako výchozí, ale uživatel si může zvolit i anglický, případně německý jazyk. Lišta umístěná na levé straně obrazovky obsahuje tlačítka, pomocí kterých si může obsluha zobrazit požadovanou stránku. Stránky, které lze zobrazit na panelu jsou popsány na dalších řádcích.

Hlavní stránka se zobrazí implicitně po zapnutí stanice. Stránka obsahuje pouze zmenšenou fotografii stanice a progress bar, který znázorňuje odpracovanou část cyklu stanice. Pakliže je stanice provozována v automatickém režimu, je zajištěno funkční komunikační spojení stanic a během provozu nedochází ke vzniku chyb, není obsluha jakkoliv nucena tuto stránku vizualizace opouštět.



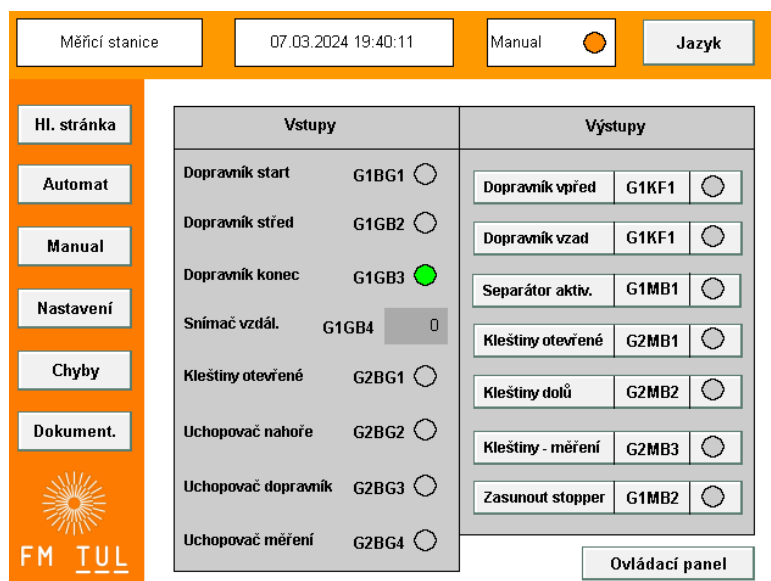
Obrázek 6.10: Hlavní stránka vizualizace na HMI panelu

Stránka **Automat** obsahuje všechny nutné ovládací prvky, která by mohla obsluha potřebovat při automatickém provozu stanice. Na této stránce se také nachází signalizace funkčního komunikačního spojení s okolními stanicemi, přičemž při správné komunikaci je indikační led podbarvena zeleně a při nefunkční komunikaci červeně. Na spodní straně stránky je umístěn progress bar podobně, jako tomu je u hlavní stránky.



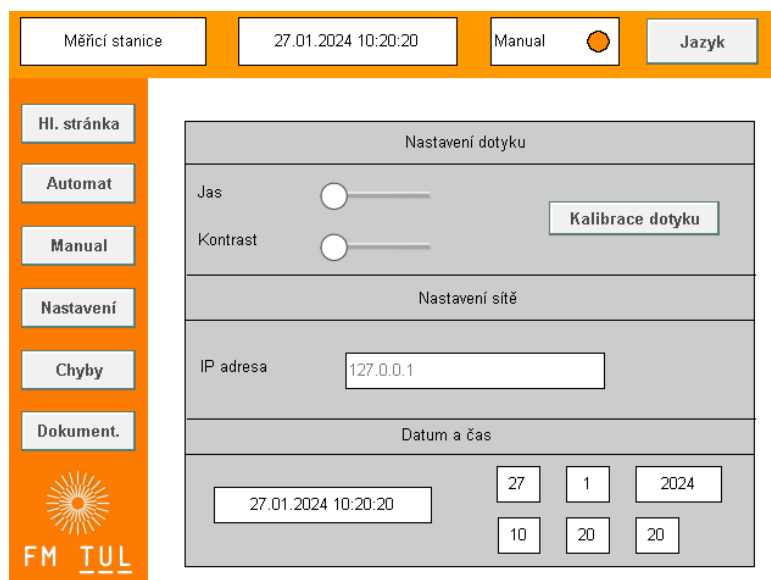
Obrázek 6.11: Stránka automatického režimu ve vizualizace na HMI panelu

Stránka **Manual** obsahuje signalizaci stavů jednotlivých I/O. Při aktivním manuálním režimu lze navíc stav výstupů přímo ovládat příslušnými tlačítky. Ze stránky manuálního režimu se lze za pomoci tlačítka **Ovládací panel**, umístěného ve spodní části, dostat na stránku, která je přesnou kopií fyzického kontrolního panelu. To znamená že obsahuje stejná tlačítka, kromě otočného přepínače s klíčkem. Zároveň obsahuje signalizaci stavů diskretních I/O použitých pro komunikační spojení pomocí vodičů.



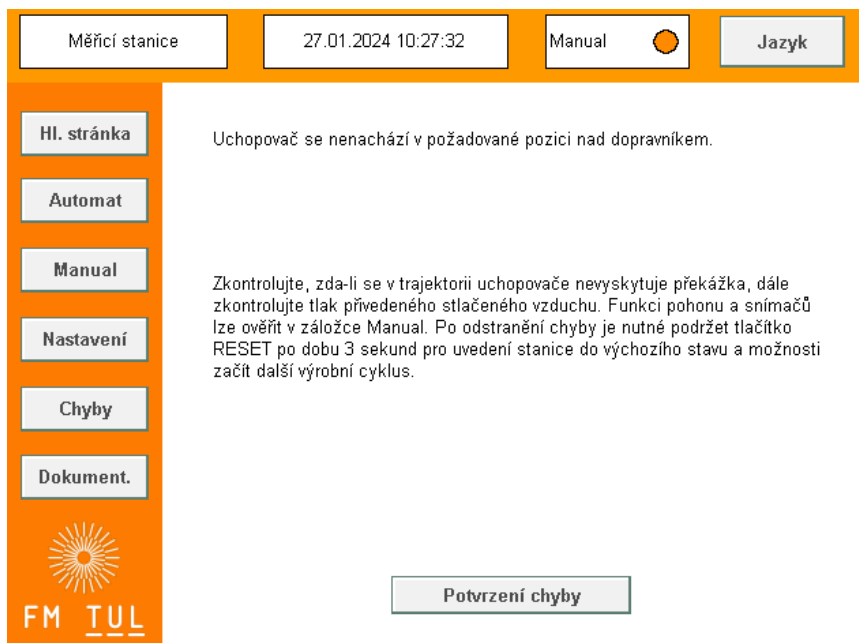
Obrázek 6.12: Stránka manuálního režimu ve vizualizace na HMI panelu

Další stránka **Nastavení** slouží k zobrazení některých vlastností stanice, případně ke změně nastavení údajů zobrazených ve vizualizaci. Na této stránce lze měnit nastavení jasu a kontrastu displeje HMI panelu. Na této stránce lze provést i kalibrace dotyku. Ze stránky lze vyčíst IP adresu stanice, jejíž znalost je potřebná pro spojení s počítačem např. z důvodu provádění změn v programu.



Obrázek 6.13: Stránka nastavení ve vizualizace na HMI panelu

Na stránce **Chyby** lze v případě poruchy vyčíst druh závady a možný postup jejího odstranění. Výčet závad pro měřicí a třídící stanici se nachází v předešlé kapitole 6.3. Na spodní části stránky se nachází tlačítko **Potvrzení**, za pomoci kterého se stanice dostává z chybového stavu do stavu výchozího.



Obrázek 6.14: Stránka chyb ve vizualizace na HMI panelu

Na poslední stránce nazvané **Dokumentace**, se nachází část vyhotovené dokumentace, resp. pár jejích částí. Tato stránka má sloužit jako stručný návod pro uvedení linky do provozu. Návod na této stránce je rozdělen do několika částí. V první části se nachází pokyny před prvním spuštěním, další dvě části pak popisují specifika provozu stanice v automatickém a manuálním režimu. Z důvodu přehlednosti se obrázek s touto stránku nenachází přímo v bakalářské práci, ale v přiložené dokumentaci, kde se nachází i návod v plném znění.

7 Výsledný výrobní proces

Výrobní linka, sestávající se z měřicí a třídící stanice v tomto pořadí, navazuje na kombinaci tří dalších stanic. Jedná se o stanici distribuční, stanici předávací a stanici separační v uvedeném pořadí. Jelikož je funkce těchto tří stanic popsána v bakalářské práci pana Jana Minaříka, omezím se v této práci pouze na pracovní proces linky složené z měřicí a třídící stanice.

Po založení obrobku na začátek dopravníku, případně po předání obrobku z předchozí stanice, je zahájen pracovní cyklus a obrobek putuje na pozici, odkud je za pomoci uchopovače přemístěn do pozice měření. Zde proběhne kontrolní měření, pomocí kterého je zjištěna přítomnost, případně absence víčka. Po provedení měření je obrobek přesunut uchopovačem zpět na dopravník, kde po umístění obrobku na pás dopravníku dochází k rozevření kleštín a navrácení uchopovače do základní polohy. Následně je zasunut stopper, aby byl umožněn pohyb obrobku vpřed. Po zasunutí stopperu se rozjede pás dopravníku i s obrobkem kupředu a podle výsledku měření dochází, či nedochází k aktivaci separátoru a tím je ovlivněna trajektorie obrobku. Pokud není obrobek osazen víčkem, je pomocí separátoru nasměrován do skluzného žlabu a cyklus stanice je ukončen. V případě správně nasazeného víčka putuje obrobek až na konec dopravníku měřicí stanice, kde je následně převzat třídící stanicí.

Jakmile dojde k předání obrobku, je obrobek dopraven do detekčního rámu. Zde je pohyb dopravníku přerušen a obrobek je pomocí trojice senzorů identifikován. Stanice třídí obrobky podle typu materiálu na kovové a plastové. Plastové obrobky následně rozlišuje podle jejich barvy na červené a černé. Po identifikaci obrobku se dopravník rozjíždí a podle typu obrobku je aktivován příslušný separátor pro správné roztřídění do skluzných žlabů. Jednotlivé druhy obrobků jsou uskladněny ve žlabech v pořadí voleném po směru jízdy dopravníku. Kovové, červené a poslední černé obrobky. Po sklouznutí obrobku do žlabu končí pracovní cyklus a vlastně i celý výrobní proces, jelikož je třídící stanice koncipována jako finální.

Takto navržený výrobní proces plní svůj účel. Zachycuje funkci jednotlivých stanic a všech jejich prvků. Ke správné funkci linky je ale nutný občasný zásah obsluhy. Jedná se především o doplňování nových obrobků a jejich odebírání ze skluzných žlabů. V následující kapitole bude nastíněna možná modifikace v podobě zpětné smyčky, jejíž cílem by bylo přepravit obrobky a víček na výchozí pozice.

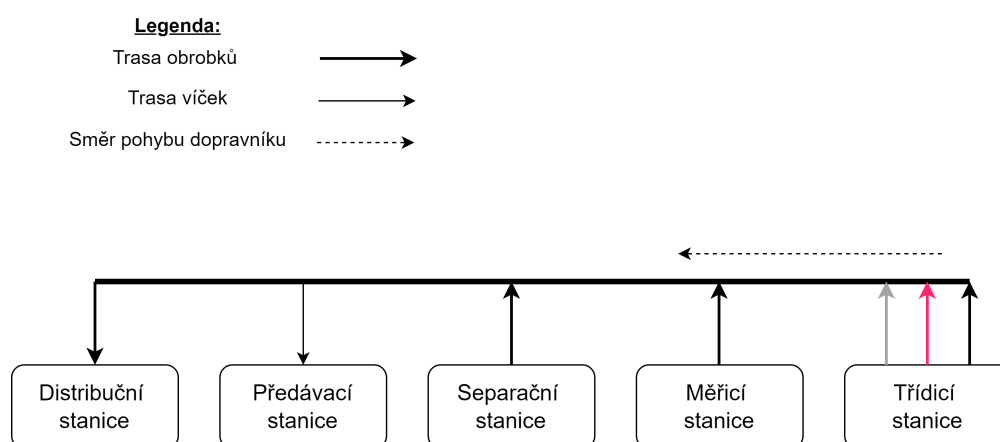
8 Zpětná smyčka

Vzniklá výrobní linka, jejíž účel je demonstračního charakteru, přímo vybízí k návrhu nějaké formy zpětné smyčky. Implementace zpětné smyčky do stávající konfigurace stanic by přinesla řadu benefitů. Za největší výhodu lze považovat úplnou autonomii stanic v případě bezporuchového provozu.

Návrh zpětné smyčky, který je v této kapitole popsán, je založen na pečlivém zkoumání možných úprav. Při návrhu bylo dbáno na zachování jednoduchosti a flexibility stanic. Zároveň byl kladen důraz na funkčnost a estetiku, čili byla snaha omezit se ve výběru dílčích komponent pouze na příslušenství stanic Festo MPS. Nastali však situace, kdy bylo zapotřebí předpřipravené Festo komponenty více, či méně upravit.

Co se konceptu této zpětné smyčky týče, je důležité předem upozornit na fakt, že se nejedná o vyzkoušený funkční celek, nýbrž jen o hypotézu, kterou by bylo možné dále zkoumat a rozvíjet v některé další bakalářské či diplomové práci. Tato kapitola může autorovi posloužit, jako zdroj inspirace, případně ho může upozornit na některá úskalí, se kterými může během realizace zpětné smyčky přijít do styku.

V následujících podkapitolách budou popsány modifikace na jednotlivých stanicích. Obrázek níže zachycuje pohyb obrobků a vícečků ve zpětné smyčce.



Obrázek 8.1: Stránka chyb ve vizualizace na HMI panelu

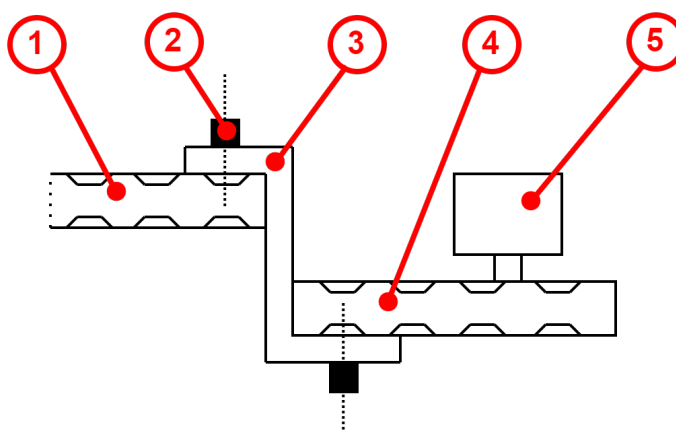
8.1 Dopravník zpětné smyčky

Páteřní část zpětné smyčky bude tvořit dopravník, který bude dopravovat obrobky ze skluzných žlabů zpět na svá původní místa. Tento dopravník se bude skládat z pěti standardních dopravníkových modulů 2.1.1, tj. pro každou stanicí jeden modul. Dopravníkové moduly mohou být ukotveny přímo k pojízdným stolům pomocí držáků.

Jako více univerzální varianta se jeví dopravník přidělat ke standardnímu drážkovanému plechu o rozměrech 350 x 700 mm [31]. Tento drážkovaný plech se potom ukotví pomocí dvojice držáků k pojízdnému stolku. Zmiňovaný drážkovaný plech je použit na všech stanicích Festo MPS, kde je mimo jiné usazen právě dopravníkový modul. Jinými slovy je zaručen jistý stupeň kompatibility.

Vzhledem k fyzickým proporcím drážkovaného plechu a jeho využití ploše bude jistě vhodná šířka plechu podle uvážení zmenšit.

Vzdálenost dopravníkového modulu od pojízdného stolku a jeho výška od země budou na všech stanicích stejné a měly by být voleny s ohledem na bezproblémové předání obrobků ze všech skluzných žlabů na dopravník zpětné smyčky.



Obrázek 8.2: Konstrukce uchycení zpětného dopravníku k pojízdnému stolku

Legenda

1. Montážní drážková deska stanice
2. Šroub s kamenem v drážce pro uchycení držáku
3. Držák spojující desku stanice a zpětného dopravníku
4. Montážní drážková deska pro ukotvení komponent zpětné smyčky
5. Dopravníkový modul zpětné smyčky

8.2 Třídící stanice

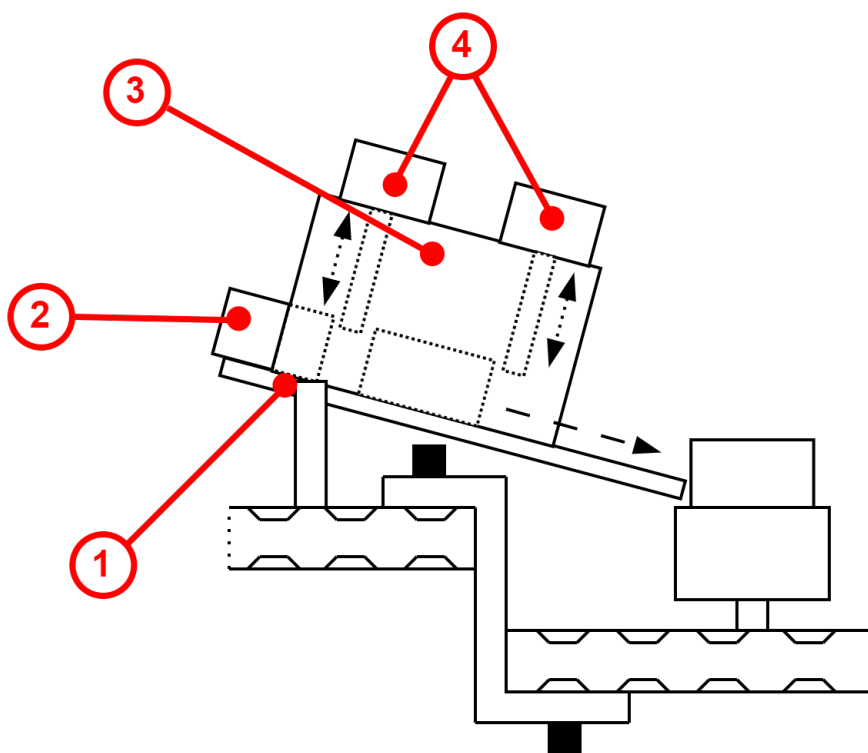
Jelikož se třídící stanice nachází na konci celého pracovního procesu, bude na této stanici umístěn začátek dopravníku zpětné smyčky. Na třídící stanici bude úkolem zajistit přesun obrobků ze skluzných žlabů na pás zpětného dopravníku.

Nejdříve bude zapotřebí prodloužit všechny tři předinstalované skluzné žlaby. Prodloužení lze docílit nainstalováním separátních skluzných žlabů zkrácených na požadovanou délku (obr. 8.3 - pozice 1). Před tímto úkonem je však potřeba nastavit co nejprudší sklon všech skluzných žlabů tak, aby nebylo narušen proces třídění obrobků do žlabů a zároveň aby prodloužený skluzný žlab nekolidoval s drážkovou montážní deskou. Po nastavení sklonu žlabů a jejich prodloužení je možné uchytit ke stanici držák s montážní deskou a dopravníkem. Podle požadované polohy zpětného dopravníku můžeme korigovat parametry držáku a délku prodloužení předinstalovaných žlabů.

V dalším kroku je třeba vhodně rozmyslet způsob uvolňování obrobků ze skluzných žlabů na dopravník zpětné smyčky. První a zároveň nejjednodušší způsob je umožnit volný průchod obrobků přímo na pás zpětného dopravníku. Obrobek tedy po třídícím procesu sjede po skluzném žlabu přímo na zpětný dopravník. Toto řešení se sice jeví jako nejjednodušší možné, bohužel však není flexibilní a v jistém ohledu se zdá být omezující. Proto by bylo vhodné uvolňovat výrobky kontrolovaně.

Jedna z možností, jak dosáhnout kontrolovaného uvolňování obrobků ze skluzných žlabů vypadá následovně. Pohybu obrobku na skluzném žlabu směrem dolů by se dalo zamezit vysunutím pístnice pneumatického stopperu (obr. 8.3 - pozice 4), který by byl umístěný na portálové konstrukci (obr. 8.3 - pozice 3). Návrh konstrukce by vycházel z rámu detekčního modulu [32]. Pístek stopperu sice sám o sobě nemá velký zdvih, ale pro zajištění polohy obrobku bude stačit i malý kontakt obrobku s pístnicí stopperu. Tuto pístnici lze v případě potřeby prodloužit díky díře opatřené závitem M3. V tomto otvoru je již umístěn šroub, který lze zaměnit za jiný šroub M3 požadované délky.

Z důvodu zamezení kolize stopperu a obrobku bude vhodnější osadit skluzný žlab dvojicí po sobě jdoucích stopperů. Obrobky ve skluzném žlabu zajištěny jedním stopperem a v okamžiku, kdy bude třeba jeden obrobek uvolnit, dojde k zasunutí druhého, předcházejícího stopperu. Ve chvíli, kdy jsou oba stoppery vysunuty, dojde k separaci posledního obrobku. Tento obrobek lze následně vypustit na pás zpětného dopravníku zasunutím stopperu umístěného níže. Pro nekolizní vysunutí pístnice stopperu do prostoru mezi obrobky bude vhodné hlavu šroubu uříznout a následně srazit hrany. Výše popsané úpravy zachycuje obrázek 8.3



Obrázek 8.3: Topologie prvků po modifikaci třídící stanice

Legenda

1. Prodloužený skluzný žlab
2. Obrobek
3. Rám portálové konstrukce osazen stopperem
4. Dvojice stopperů pro uvolňování obrobků.

8.3 Měřicí stanice

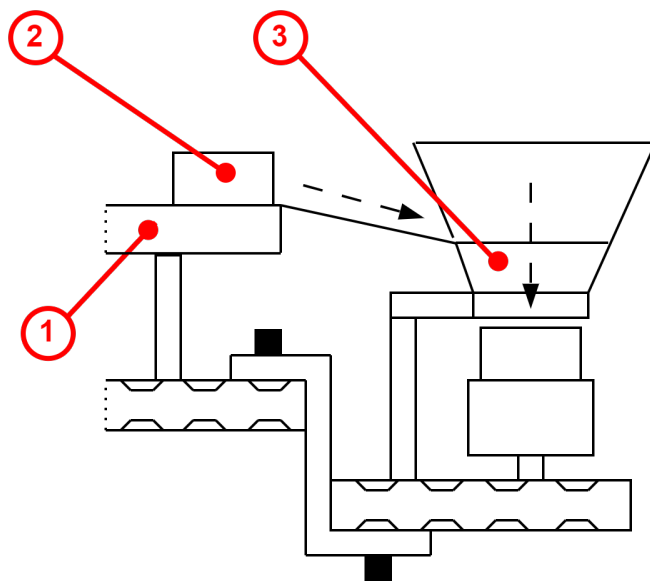
U měřicí stanice budeme při úpravě stávajícího rozložení prvků postupovat podobným způsobem jako u třídící stanice. Měřicí stanice totiž používá na separaci obrobků bez více jeden skluzný žlab, který je totožný se skluznými žlabami osazenými na třídící stanici. Tudíž lze vycházet z úvah zmíněných v předchozí podkapitole. Skluzný žlab stačí jen prodloužit, aby dosahoval na zpětný dopravník, případně ho lze opatřit portálovým rámem s dvojicí stopperů.

8.4 Separační stanice

Konstrukce separační stanice se oproti předchozím stanicím odlišuje použitým dopravníkovým modulem (obr. 8.4 - pozice 1), který zde zastává místo skluzného žlabu. Tím, že výrobce osadil separační stanici dopravníkem namísto skluzného žlabu způsobil drobnou komplikaci v přesunu obrobku na zpětný dopravník.

Vyvstává zde myšlenka odstranit stávající dopravník a nahradit jej skluzným žlabem s úpravou, která již byla provedena na dvou předchozích stanicích. Toto řešení může přispět k ušetření času, jelikož by úprava tří stanic vyžadovala téměř totožný postup. Pokud by ale byla tato myšlenka realizována, je nutné původní dopravník demontovat, což už se dá považovat za významné narušení původní konstrukce stanice. Cílem této hypotézy je navrhnout takové úpravy, které budou spočívat v rozšíření, případně modifikaci stávající konfigurace prvků.

Pokud se tedy rozhodneme pro zachování původního dopravníku, potom lze realizovat přesun obrobku na zpětný dopravník např. pomocí naváděcí skluzavky zakončené naváděcím otvorem (obr. 8.4 - pozice 3). Konec této skluzavky má kónický tvar a připomíná trychtýř. Způsob této realizace je zachycen na obrázku níže.



Obrázek 8.4: Topologie prvků po modifikaci separační stanice

Legenda

1. Předinstalovaný dopravník na separační stanici
2. Obrobek
3. Skluzavka zakončená otvorem

8.5 Předávací stanice

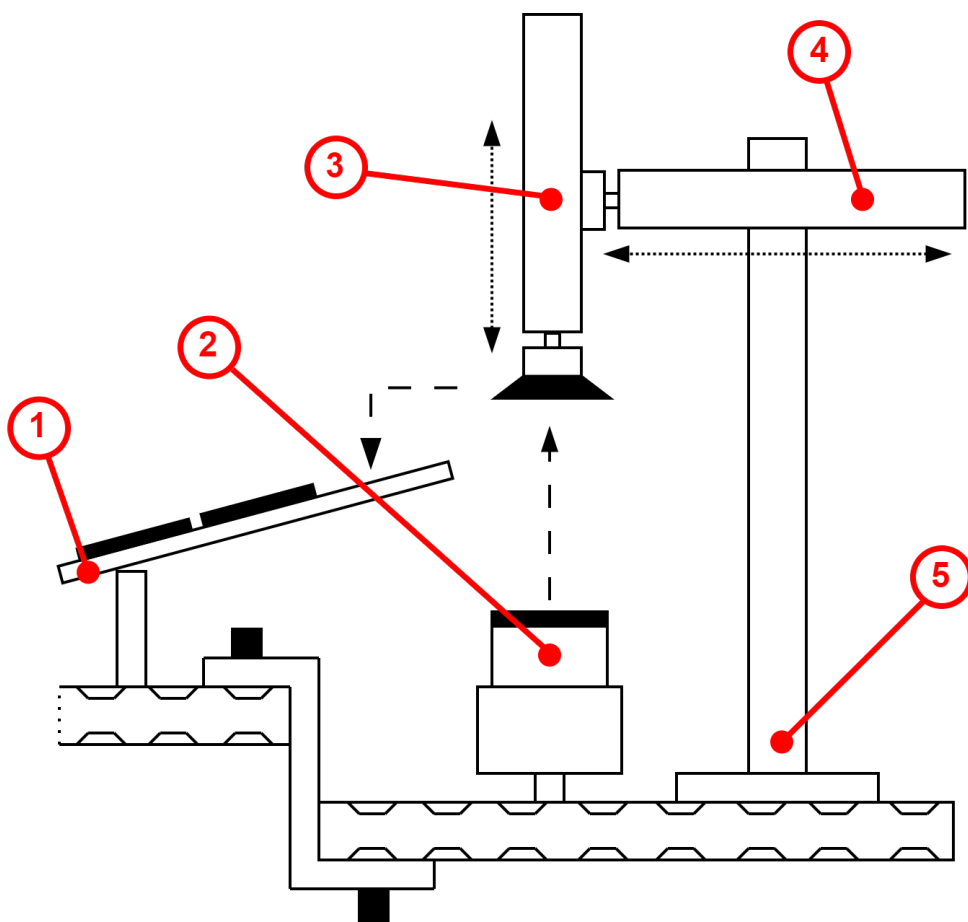
Konstrukci u předávací stanice bude nutné upravit tak, aby bylo umožněno odebírat víčka z obrobků na zpětném dopravníku. Tyto víčka musí být umístěny na původní místo do zásobníku na předávací stanici.

Možné řešení realizace je již na stanici nastíněno. Konkrétní prvek, jež by dokázal požadavek odebírání víček vyřešit, je modul Pick&place [33], který se na předávací stanici používá k odebírání víček ze zásobníku a k jejich následnému nasazení na obrobek. Tento modul provádí pracovní postup přesně v opačném pořadí, než je potřeba pro aplikaci v rámci zpětné smyčky. To však znamená, že lze tento již ověřený a funkční koncept použít, ovšem s otočeným pořadím pracovního postupu a dalšími úpravami.

Upravit se musí především zdvihy pístů použitých pro pohon os (obr. 8.5 - pozice 3 a 4). Tyto zdvihy bude nutné uzpůsobit poloze zpětného dopravníku. To však díky velké škále pneumatických pístů, které firma Festo vyrábí, nebude působit potíže. V rámci produktové řady pneumatických pístů, které jsou použity v modulu Pick&place, existuje velké množství alternativních pístů s různě velkým zdvihem. Po výběrů správných pístů a jejich montáži už zbývá jen přichytit vakuovou přísavku a ostatní příslušenství demontované z původně použitého pístu. Koncové polohy obou pístů lze pomocí dvojice šroubů doladit na požadovanou hodnotu.

Další úprava konstrukce, která bude muset být s největší pravděpodobností provedena, je prodloužení zásobníku víček (obr. 8.5 - pozice 1). Tato úprava má opodstatněný důvod. Původní konstrukce umožňuje zásobníku pojmout až pět víček. Při automatickém provozu linky, která se skládá z pěti stanic, by ale mohlo dojít k situaci, že by víčka nestihli zpětnou smyčkou doputovat zpět do zásobníku. Prodloužený zásobník pojme více než pět víček a měl by tak pomoci překlenout dobu, která je nezbytná k doputování víček zpět do tohoto zásobníku. Konstrukce zásobníku umožňuje měnit jeho sklon a otočení a tím eliminovat drobné nepřesnosti.

Možnou modifikaci předávací stanice zachycuje následující obrázek.



Obrázek 8.5: Topologie prvků po modifikaci předávací stanice

Legenda

1. Prodloužený zásobník na víčka
2. Obrobek s nasazeným víčkem
3. Pneumatický pohon osy Z s přísavkou
4. Pneumatický pohon osy Y
5. Montážní rám modulu Pick&place s podstavou

8.6 Distribuční stanice

Distribuční stanice se nachází na začátku celého pracovního procesu. Její modifikace bude navržena tak, aby bylo umožněno automatické odebírání obrobků ze zpětného dopravníku a jejich následné umístění do zásobníku.

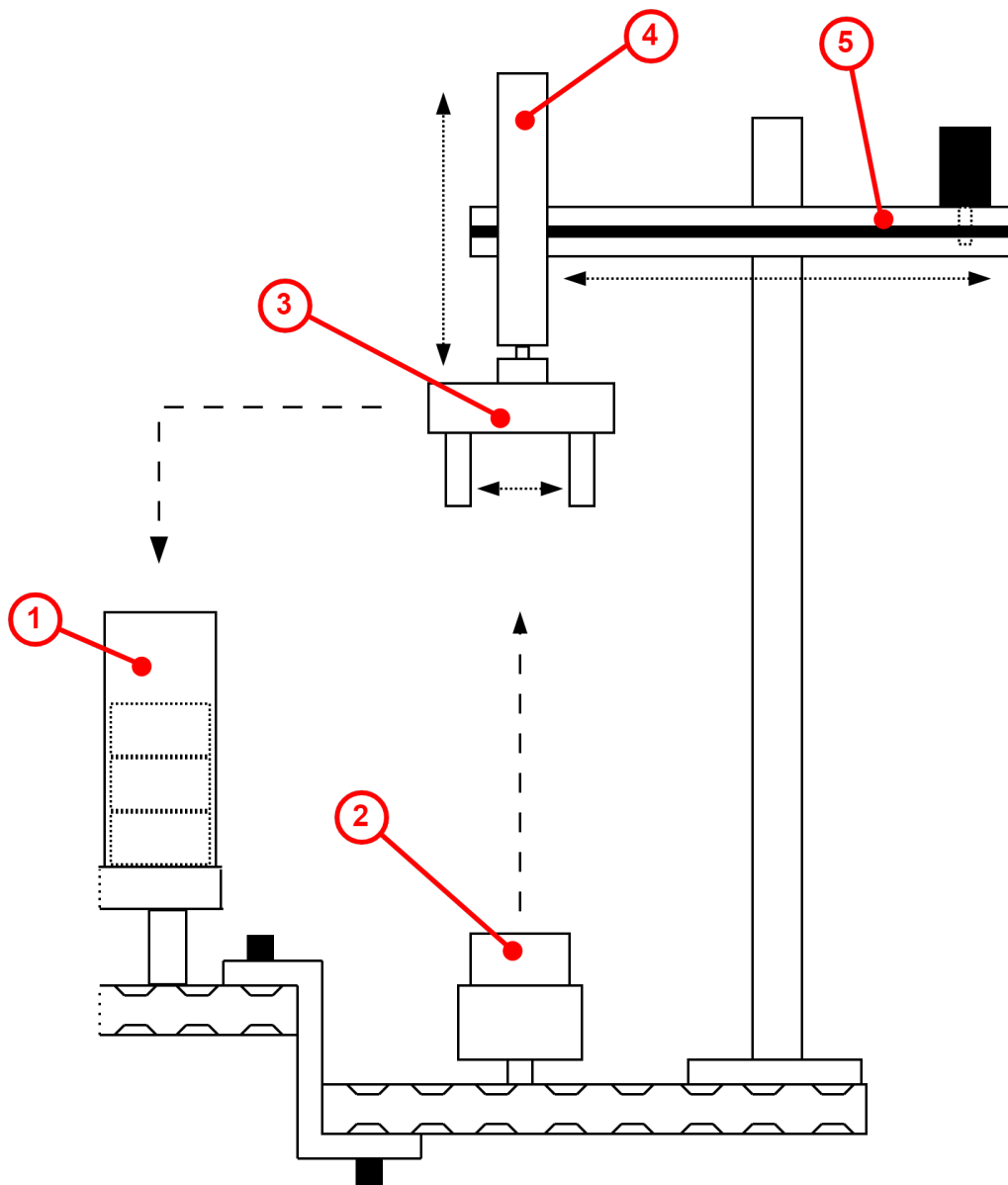
Jedna z drobnějších úprav, která ale bude mít přímý vliv na správnou funkci celé zpětné smyčky, spočívá v rozšíření kapacity zásobníku na obrobky (obr. 8.6 - pozice 1). Účel této opravy je totožný, jako v případě rozšíření zásobníku na víčka v předávací stanici. Musí být překlenuta doba nutná k tomu, aby obrobky prošli celým pracovním procesem a následně zpětnou smyčkou doputovali zpět do zásobníku.

Kromě výšky zásobníku bude nutné upravit i jeho tvar. Nešťastně navržená konstrukce zásobníku, jež má boční otvory a půdorys čtverce, způsobuje časté uvážnutí obrobku. Tento problém zůstával díky manuálnímu doplňování obrobků dlouho skrytý. Jako vhodnější alternativa se jeví použití zásobníku s kruhovou podstavou bez bočních otvorů.

Realizaci samotného odebírání obrobků z dopravníků a následné umístění do zásobníku lze provést několika způsoby. První způsob zahrnuje použití Pick&place modulu s několika úpravami. Je nutné upravit velikost zdvihů obou pístů tak, jako v případě předávací stanice. Přísavka, která je na modulu Pick&place použita, jako koncový efektor musí být nahrazena pneumatickým pohonem s kleštinami (obr. 8.6 - pozice 3). Pohon s kleštinami lze nalézt např. na zdvihacím modulu [34] osazeném měřicí stanicí, případně na modulu dvouosé manipulace [35].

Další možnost realizace odebírání a umístění obrobků spočívá v použití modulu dvouosého manipulátoru. Pro tuto realizaci platí stejná specifika jako pro výše popsanou možnost. Je nutné přizpůsobit rozsahy obou os. Oproti modulu Pick&place zde nastává změna. Pro pohon osy Y je zde použit krokový motor (obr. 8.6 - pozice 5). Navíc nejsme fyzicky limitováni, co se týče rozsahu osy Y pro tuto aplikaci. Omezení rozsahu pro tuto osu bude tedy probíhat pouze softwarovým zásahem. Pro osu Z bude muset být zvolen vhodný alternativní píst s větším zdvihem podobně, jako v případě modulu Pick&place (obr. 8.6 - pozice 4).

Tato varianta je díky použitému krokovému motoru, který zajišťuje pohon jedné z os, více univerzální, avšak klade vyšší nároky na zastavěný prostor právě kvůli rozsahu této osy. Obrázek níže zachycuje variantu úpravy s manipulačním modulem.



Obrázek 8.6: Topologie prvků po modifikaci distribuční stanice

Legenda

1. Prodloužený zásobník s obrobky
2. Obrobek na konci zpětného dopravníku
3. Kleštiny pro uchopení obrobku
4. Pneumatický pohon osy Z s kleštinami
5. Osa Y poháněná krokovým motorem

9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo na základě poznatků navrhnout a následně realizovat výrobní linku a pracovní proces, který by demonstroval funkci stanic Festo MPS resp. všech jejich součástí. Na stanicích, ze kterých se linka sestává, byly provedeny nezbytné mechanické úpravy pro správnou funkčnost a zapojení přídatných zařízení zajišťující vzájemnou komunikaci.

Řídící systém výrobní linky byl realizován na platformě firmy B&R-Automation. Tvorba algoritmu pro řízení chodu výrobní linky probíhala ve vývojovém prostředí Automation Studio. Sestrojený algoritmus umožňuje provoz linky v automatickém nebo manuálním režimu. Řídící algoritmus výrobní linky byl doplněn o systém detekce chyb, který zabrání pokračování chodu stanice v případě vzniku nežádoucích stavů. Pro lepší interakci stanic s obsluhou byla vytvořena vizualizace pro HMI panely. Vizualizace slouží k ovládání stanice provozované v obou režimech a k upozornění obsluhy na výskyt závady. Pro výrobní linku byla vytvořena dokumentace, která slouží k sestavení linky a k následnému uvedení linky do provozu.

Hlavní přínos této práce spočívá ve vytvoření složitější výrobní linky, která byla ve spolupráci s kolegou Janem Minaříkem rozšířena na pět stanic z původních dvou stanic, tedy měřicí a třídící stanice. Linka bude použita pro prezentační účely, případně pro účely výuky, jelikož nabízí spoustu možností úprav a dalších rozšíření. V závěrečné kapitole byla popsána možnost rozsáhlejší modifikace linky v podobě zpětné smyčky. Poznatky z této kapitoly mohou posloužit jako podkladový materiál pro bakalářskou, případně diplomovou práci, která by se zabývala realizací této zpětné smyčky.

Literatura

- [1] *MPS – továrny na výuku mechatroniky / Festo CZ* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/e/technicke-vzdelavani/vzdelavaci-koncepce/novinky/vyukove-tovarny/mps-tovarny-na-vyuku-mechatroniky-id_31963/.
- [2] *Festo Conveyor module* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/ConveyorModule/EN/index.html>.
- [3] *Festo MPS Control Panel* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://www.festo.com/at/en/p/mps-control-panel-id_PROD_DID_8127608/?page=0&documentTypeGroup=USER_DOCUMENTATION&documentTypes=.
- [4] *Festo Didactic InfoPortal* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-17]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/MeasuringStation/EN/Documentation.html>.
- [5] FESTO. *distance sensor SOEL-RTD-Q50-PU-S-2L-40*. [B.r.]. Dostupné také z: https://ftp.festo.com/public/PNEUMATIC/SOFTWARE_SERVICE/DataSheet/EN_GB/549316.pdf.
- [6] *Festo Measuring Station* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-10]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/MeasuringStation/EN/index.html>.
- [7] *Festo Sorting Station Documentation* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-17]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/SortingStation/EN/Documentation.html>.
- [8] FESTO. *workpiece* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: https://www.festo.com/at/en/p/process-automation-workpiece-set-id_PROD_DID_554301/?page=0.
- [9] *Festo Sorting Station* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-17]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/SortingStation/EN/index.html>.
- [10] B&R, Industrial Automation GmbH. *X20CP0484* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-17]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/en/products/x20cp0484/>.
- [11] B&R, Industrial Automation GmbH. *Datasheet_X20CP04xx* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-24]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/en/downloads/control-and-io-systems/x20-system/compact-s-cpus/x20cp0484/data-sheet-x20ccp04xx/>.

- [12] B&R, Industrial Automation GmbH. *X20PS9600* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/ridici-systemy/system-x20/system-modules-for-compact-s-plc/x20ps9600/>.
- [13] B&R, Industrial Automation GmbH. *X20DIF371* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/io-systemy/system-x20/digital-inputs/x20dif371/>.
- [14] B&R, Industrial Automation GmbH. *X20DOF322* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/x20dof322/>.
- [15] B&R, Industrial Automation GmbH. *X20AI2622* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/io-systemy/system-x20/analog-inputs/x20ai2622/>.
- [16] B&R, Industrial Automation GmbH. *6PPT30.0573-20W* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-24]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/6ppt300573-20w/>.
- [17] CONTACT, Phoenix. *UNO-PS/1AC/24DC/150W* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/produkty/elektricke-napajeni-uno-ps1ac24dc150w-2904376>.
- [18] CONTACT, Phoenix. *FL SWITCH 1005N - Industrial Ethernet Switch - 1085039 / Phoenix Contact* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/industrial-ethernet-switch-fl-switch-1005n-1085039>.
- [19] B&R, Industrial Automation GmbH. *Automation Studio* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-25]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/software/automation-software/automation-studio/>.
- [20] B&R, Industrial Automation GmbH. *Programming languages* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-25]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/>.
- [21] ŠMEJKAL, Ladislav. Esperanto programátorů PLC: programování podle normy IEC/EN 61131-3 (část 4) [online]. [B.r.], roč. 2011, č. 12 [cit. 2023-11-24]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/esperanto-programatoru-plc-programovani-podle-normy-iec/en-61131-3-cast-4-2011_12_45413_5828/.
- [22] *Petriho síť* [online]. 2020. [cit. 2024-02-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Petriho_s%C3%AD%C5%A5&oldid=18810452. Page Version ID: 18810452.
- [23] DVOŘÁK, Jiří. *Co je to VNC a jak se s ním připojit k virtuálnímu serveru* [online]. 2017. [cit. 2023-11-25]. Dostupné z: <https://www.coolhousing.net/cz/co-je-to-vnc-a-jak-se-s-nim-pripojiti-k-virtualnimu-serveru>.
- [24] REALVNC®, Ltd. *How to use VNC Connect Remote Desktop software* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-25]. Dostupné z: <https://discover.realvnc.com/how-to-use-vnc-connect-remote-desktop-software>.

- [25] KOL., Jiří Koziorek a. *Distribované systémy řízení*. Vysoká škola báňská, 2011. Dostupné také z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/DSR/Distribuovane%20systemy.pdf?fbclid=IwAR3XU0IPknKR18VFLpWRH-G0KIqHHGr89DvmgTPKp02pn-RZ5rt1SyfkQ>.
- [26] SHACKLETT, Mary E. *TCP/IP* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/TCP-IP>.
- [27] IEEE Standards for Local Area Networks: Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications. *ANSI/IEEE Std 802.3-1985* [online]. 1985, 0_1– [cit. 2023-12-03]. Dostupné z DOI: [10.1109/IEEESTD.1985.82837](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1985.82837). Conference Name: ANSI/IEEE Std 802.3-1985.
- [28] FRANTIŠEK ZEŽULKA, Ondřej Hynčica. Průmyslový Ethernet IV: Principy průmyslového Ethernetu [online]. 2007 [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslovy-ethernet-iv-principy-prumysloveho-ethernetu-2007_10_34198_3258/?fbclid=IwAR3IaCpertzFobC3tYpXM_NrzDoNQD0mLKT2TRih9oAuJgDPPQrjtKDBGmM.
- [29] B&R, Industrial Automation GmbH. *POWERLINK* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: www.ethernet-powerlink.org.
- [30] VOJANEC, Jakub. Užití distribuovaných periferních jednotek Simatic ET200 [online]. [B.r.], roč. 2008, č. 2 [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/uziti-distribuovanych-perifernich-jednotek-simatic-et200-2008_02_36680_5134/.
- [31] *aluminium profile plate Festo* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: https://www.festo.com/gb/en/p/aluminium-profile-plate-id_PROD_DID_159333/?page=0.
- [32] *Detection module Festo* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/DetectionModule/EN/index.html>.
- [33] *Pick&Place modul Festo MPS* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/modul-pick-place-id_PROD_DID_8031659/?page=0.
- [34] *Rotary/Lifting module Festo* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/RotatingLiftingModule/EN/index.html>.
- [35] *2axis handling module Festo* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/MPS/HandlingModule/EN/index.html>.

A Přílohy

- Dokumentace k sestavení a oživení výrobní linky
- Vzorový program