



Bakalářská práce

Návrh a realizace řídicího systému stroje pro výrobu mřížek pro chemické filtry

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Autor práce:

Mikoláš Jankele

Vedoucí práce:

Ing. Martin Diblík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Návrh a realizace řídicího systému stroje pro výrobu mřížek pro chemické filtry

Jméno a příjmení:

Mikoláš Jankele

Osobní číslo:

M21000209

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Zadávající katedra:

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Akademický rok:

2023/2024

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s požadavky zadavatele na vlastnosti nového jednoúčelového stroje na přípravu mřížek do chemických filtrů. Prostudujte mechanickou konstrukci stroje a požadavky na technologii výroby.
2. Na základě zjištěných skutečností proveďte návrh elektrického, pneumatického a řídicího systému pracoviště. Definujte požadavky funkční bezpečnost nového stroje.
3. Vytvořte elektrické zařízení (rozvodnici) pro umístění řídicího systému pracoviště.
4. Navrhněte algoritmus pro řízení funkce stroje a implementujte jej do zvoleného řídicího systému.
5. Pro zařízení vytvořte nezbytnou technickou dokumentaci.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování práce: Tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] DVOŘÁČEK, Karel a Vincent CSIRIK. Projektování elektrických zařízení. Praha: IN-EL, 1999. Knižnice Elektro. ISBN 80-862-3010-4.
- [2] SALTEK S.R.O. Příručka pro projektování, montáže a revize. Praha, 1998, 1999.
- [3] FENCL, František. Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Vyd. 4. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04351-6.
- [4] ROCKWELL AUTOMATION, INC. *Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení. Zásady, normy, implementace (Revize 5 řady publikací Safebook)*. B.m.: Rockwell Automation, Inc., 2016. Strojní vybavení - safebook 5.

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 Černožorský, Ph.D.
vedoucí ústavu

Prohlášení

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

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

14. května 2024

Mikoláš Jankele

Návrh a realizace řídicího systému stroje pro výrobu mřížek pro chemické filtry

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí stroje pro výrobu filtračních mřížek do chemických filtrů. Ten je koncipován jako jeden z nejzásadnějších bodů zlepšení efektivity a ergonomie v procesu výroby kombinovaných filtrů pro osobní filtrační jednotky, a jako část automatické výrobní linky, ale i jako samostatně použitelná stanice. Specificky je zájem věnován elektrické, programové a bezpečnostní realizaci, nicméně nedílná mechanická konstrukce je také popsána.

Klíčová slova

Tělo filtru, PLC, HMI, Mřížka, Funkce, Pervin, Textilie, Ultrazvuk, Obrábění

Design and construction of chemical filter separator grid manufacturing machine control system

Abstract

This bachelors paper is concerned with design and construction of a machine designed to manufacture plastic separator grids with bonded filter element. This machine is thought of as one of the main quality of life improvements regarding effectivity and ergonomics in the manufacturing process of these chemical filters for PAPRs. It is designed to be used as a standalone machine, or within a high-level integration assembly line. A specific attention is given to the electrical, program and safety design, but nevertheless the mechanical design is also mentioned.

Keywords

Filter body, PLC, HMI, Filter grid, Function, Pervin, Textile, Ultrasonic, Machining

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Martinu Diblíkovi, Ph.D., za cenné rady, konzultace a podporu při vypracování práce. Zároveň také obrovský dík patří Ing. Radku Malinovi a Ing. Jiřímu Jankele za výborné pracovní vedení, a pozitivní náhled vůči pokroku. Dále samozřejmě bez podpory rodiny a přátel by bylo vypracování velmi obtížné.

Obsah

Úvod	11
Teoretická část	12
1 Rešerše	12
1.1 Koncepce a motivace	12
1.2 První prototyp	13
1.3 Funkční prototyp odpovídající návrhu technologie	17
Praktická část	18
2 Mechanická konstrukce stroje	18
3 Elektrická konstrukce	24
3.1.1 Řídící systém.....	24
3.1.2 Pohybové systémy	25
3.1.3 Napájení stroje	25
3.1.4 Bezpečnostní systém	25
3.1.5 Ovládací a signalizační prvky	27
3.2 Nutné podklady pro řízení	27
3.2.1 Sériová komunikace	27
3.2.2 Interní stavy	29
3.2.3 IO signály	30
3.2.4 Bezpečnost stroje	30
4 Struktura řídicího algoritmu	31
4.1.1 Segment HOMING	31
4.1.2 Segment MISC.....	32
4.1.3 Segment Cloth.....	32
4.1.4 Segment Status.....	33
4.1.5 Segment Temperature	33
4.1.6 Segment Signalisation.....	33
4.1.7 Segment Movements.....	33
4.1.8 Segment Emergency	34
4.1.9 Segment Manual Jog.....	34
4.1.10 Segment Main	35
5 Uživatelské prostředí	37
Závěr	40
Použitá / Citovaná literatura	41
Přílohy	42

A	FMEA v návrhové fázi	42
B	Předběžná verze návodu stroje, s převážným zaměřením na servisní úkony	42
C	Elektrotechnická dokumentace stroje	42
D	Kopie poslední verze programu PLC k datu vydání BP	42
E	Průvodní dokumentace stroje	42

Seznam obrázků

Obrázek 1	- stávající sestava spodní mřížky filtru, zprava mřížka, dvě kolečka pervinu a horní kroužek	11
Obrázek 2	- Řezný nástroj na testovacím přípravku	13
Obrázek 3	- Testovací přípravek - "první prototyp"	14
Obrázek 4	- mřížka svařená s textilií nástrojem s mezikružím	15
Obrázek 5	- mřížka svařená s textilií nástrojem s mezikružím s předěly	15
Obrázek 6	- mřížka svařená s textilií nástrojem se stavěcími šrouby	16
Obrázek 7	- mřížka svařená strojem, s nesouosým nástrojem během testování.	16
Obrázek 8	- Návrh konstrukce stroje, bez zobrazených krytů	18
Obrázek 9	- Spodní technologie, částečně vysunutý píst zdvihu těla filtru	20
Obrázek 10	- Horní pracovní pozice, sestava horkého nástroje a neosazený otáčeč mřížky ...	22
Obrázek 11	- ilustrace ukazující separaci zón ^[2]	26
Obrázek 12	- Návrh bezpečnostního systému z MyPNOZ Configuratoru	27
Obrázek 13	- Ilustrace z dokumentace po sériovou komunikaci Mitsubishi IQ-F ^[3]	28
Obrázek 14	- Popis stavových bitů stavového registru motorů ICS ^[4]	29
Obrázek 15	- Ukázka výběru SIL úrovně, převzato z prezentace „FBS08-SIL“ ^[6]	30
Obrázek 16	- Logika funkce podavače mřížek	35
Obrázek 17	- Hlavní obrazovka UI s vyskakovacím menu	37
Obrázek 18	- Debug obrazovka ve zobrazení s plnou pravomocí	38
Obrázek 19	- Vyskakovací okno pro manuální ovládání pneumatických pístů	38
Obrázek 20	- obrazovka alarmů s výpisem většiny dostupných chyb	39

Seznam zkratek

{Zkratka}	{Popis zkratky}
PLC	Programmable Logic Controller
HMI	Human Machine Interface
UI	User Interface
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
SIL	Safety Integrity Level
kgf	Kilograms of force

Úvod

Idea stroje vznikla při opravách nově zaváděného stroje na výrobě, kde jednou z nejhlasitějších operací je tzv. „bouchání filtrů“, což je skládání spodní mřížky do prázdného těla filtru. Ta se skládá z mřížky, dvou vrstev pervinu (organická netkaná textilie, „viskóza / rayon“, cca 80 g/m²) a pojistného kroužku, který do těla filtru sedí s přesahem (vnitřní průměr ~106 mm). Kvůli tomuto přesahu je nutné ho buď zatlačit silou, nebo použít „bouchací přípravek“, což je obyčejná kruhová ocelová deska s navařeným madlem. Při jejím užívání zkušenou obsluhou dosahuje obsluha dostatečné kadence, aby měl člověk pocit, „že se něco musí každou chvíli rozpadnout“. Z toho tedy vychází idea, udělat stroj který eliminuje potřebu člověka k této operaci, celou ji zjednoduší do podoby vhodné pro automatizaci, a přitom výrazně zredukuje hlukové znečištění.



Obrázek 1 - stávající sestava spodní mřížky filtru, zprava mřížka, dvě kolečka pervinu a horní kroužek

Teoretická část

1 Rešerše

1.1 Koncepce a motivace

Stroj má tedy nahradit celou tuto operaci, a ještě operaci dávání horní mřížky s dalším kolečkem pervinu. Kolečka pervinu mají zásadní chybu, jsou sekány na vlastním stroji v rámci firmy, na tzv. botolisu (velký obuvnický lis pro vysekávání kůže), a jsou tudíž náchylná k chybám vzniklým lidskou obsluhou, jako je např. špatné umístění výsekového nástroje, a následné chyby v kolečkách pervinu.

Cílový koncept stroje byl tedy přímo od začátku relativně jasný, a to: Vytvořit stroj, který je schopný vložit mřížku a jedno až dvě kolečka pervinu do těla filtru automaticky. Zde narážíme na první problém, a to nepříjemné vlastnosti pervinu a zároveň i většiny netkaných textilií. Jsou-li výstřížky z textilie poskládány na sebe, dojde k „propletení“ povrchových konců vláken, což se projevuje jako zdánlivé slepení výstřížků k sobě. To činí strojní manipulaci mechanickým, vakuovými i alternativními efekty, stejně tak i manipulace rotačním podavačem nereálnou.

Tento problém chytání textilie k sobě lze vyřešit odstraněním této možnosti, a to mechanickým přichycením textilie přímo na mřížku, hned v procesu jejího vystříhnutí.

Mezi způsoby mechanického spojení se nabízely následující způsoby:

- Lepení mřížky a textilu z role a jeho následné oříznutí
- Tepelné spojení a mechanické nebo mechanicko-tepelné oříznutí
- Svaření ultrazvukem a následné oříznutí
- Mechanické prolisování plastových výstupků

Lepení mřížky s textilií a následné operace byly vyhodnoceny jako neproveditelné, kvůli náročnosti na technologii, velké potřebě spotřebního materiálu a velmi obtížnou realizaci kompletní automatizace stroje s pracovním cyklem kolem 10 s.

Mechanické prolisování s sebou nese primární problém poškození této oddělovací vrstvy. Tato vrstva totiž slouží nejen jako mechanický separátor pro aktivní uhlí ve filtru, ale zároveň jako poslední vrstva chránící člověka před vdechnutím prachu, nebo dokonce i tohoto aktivního uhlí. Zároveň by tento způsob také vyžadoval změnu ve formách pro výrobu mřížek, což je prozatím značně nežádoucí. Kvůli těmto důvodům byla tato technologie také vyřazena z výběru.

S ultrazvukem (dále jen UZ) byly provedeny počáteční zkoušky na UZ svařečce s nástroji pro svaření více filtrů. Ty ukázaly první zásadní problémy, a to: nízká přilnavost mezi organickým pervinem a plastovou mřížkou, a výraznou citlivost na vzájemnou rovinnost mřížky a UZ nástroje. Zde bylo vyzkoušeno několik syntetických materiálů z repertoáru POLYTEX s.r.o.

Zde byly testovány materiály na průnik a tlakovou ztrátu na stroji TSI CertiTest MODEL 8127, kde byly zkoušeny materiály z řady NOVOLIN a RONOLIN v materiálu PES a PP, v hustotách 40, 80 a 120 g/m². Z nich byl nejbližší původnímu pervinu a s nejlepší svařitelností vybrán Novolin PES 80 g/m².

S těmito zjištěními (a novým materiálem) jsme se obrátili na pana Libora Strejčka z firmy Ultratech s.r.o. specializující se na vývoj a výrobu UZ zařízení. Po projednání konceptu byl koncept stroje označen jako reálný a proveditelný, a došlo k domluvení zkoušek potenciálních typů nástrojů firmou Ultratech s.r.o. Z důvodu dodržení maximálního času cyklu a udržení rozumné zástavbové velikosti stroje byla zvolena UZ technologie typu „ultrasonic cut & seal“, kde je jedním nástrojem zároveň provedeno spojení materiálu a jeho oříznutí.

Zkoušky realizace p. Strejčkem a jeho odhad přibližných potřebných výkonů UZ zdroje došel k odhadu cca 3 - 4kW výkonu UZ konvertoru, a odhadovanou životnost sonotrody kolem 10 000 zdvihů. Toto řešení, při sonotrodě s výrobní cenou kolem 40000 Kč a omezeným počtem možných přebroušení se ukázalo jako těžce neobhajitelné, a to i vzhledem k potřebě specifického vybavení na broušení na kulato.

Zkouška rovného řezu při délce 50 mm byla poměrně úspěšná, kde k separaci materiálu došlo, nicméně stále zbývala občasná vlákna napříč řezem v hustotě cca 3 vlákna/10 mm. Test titanovou oválnou sonotrodou byl neúspěšný, kvůli „měkkosti“ sonotrody, a její neschopnosti udržet dostatečně dobře ostří.

Zároveň mezi termíny konzultací v Ultratech s.r.o. probíhal mechanický návrh stroje v programu Siemens NX viz. obr.1. Tam byly zjištěny vyšší požadavky na zástavbové rozměry, a vysoké nároky na odhlučnění, které by vyžadovaly posuvné odhlučňovací záslepky.

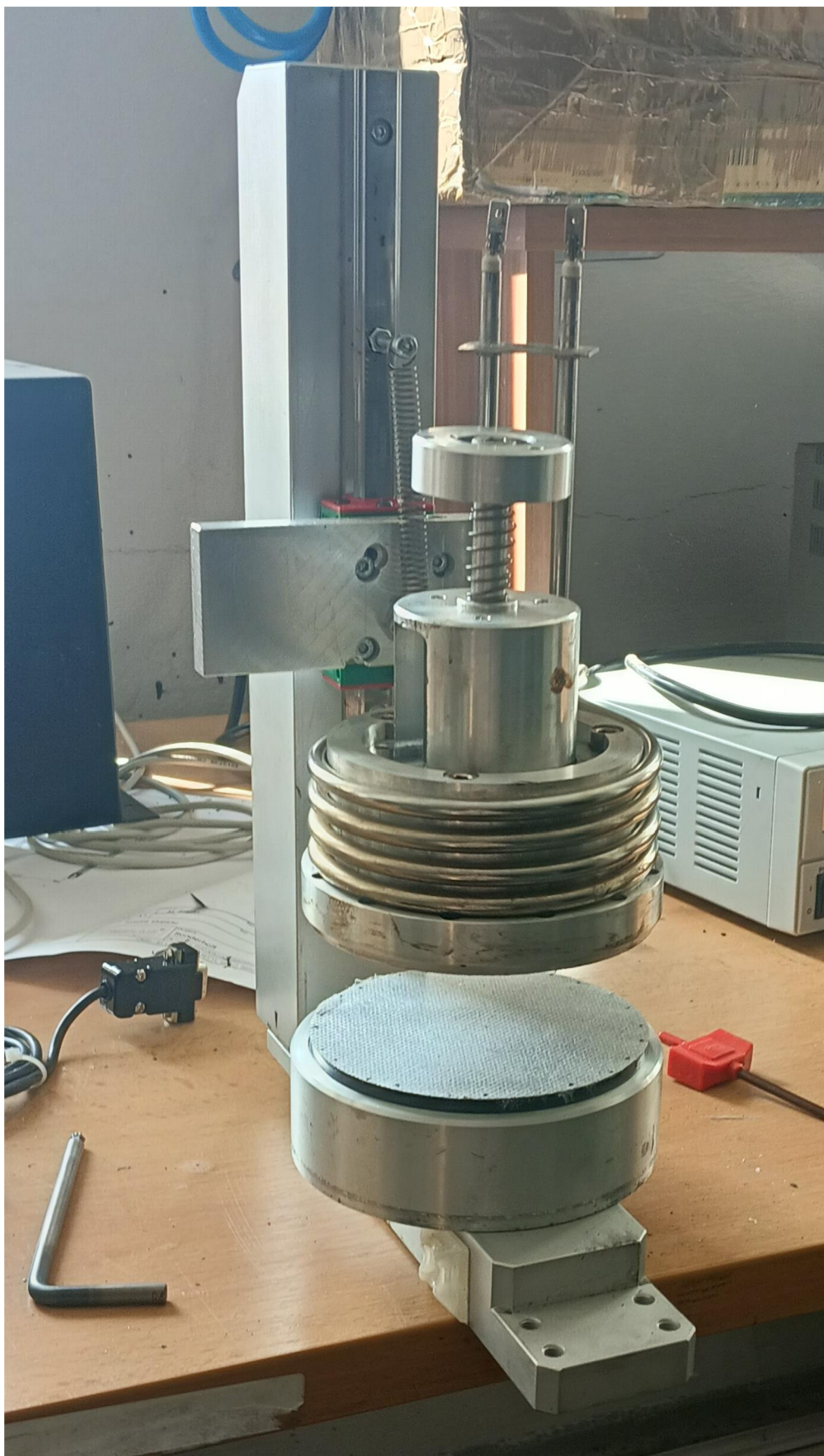
1.2 První prototyp

Všechny výše zmíněné obtíže realizace UZ technologie vedly k testování termálního dělení a svaření. To bylo prvně testováno na přípravku obrobením z hliníkových zbytků obrobených na soustruhu Optimum Optiturn TH 3309 a vrtačko-frézce Optimum Optimill BF20L. Bylo vyzkoušeno několik variant:

- Oříznutí hranou a svaření mezikružím
- Oříznutí hranou a svaření mezikružím s vyfrézovanými vybránými
- Oříznutí hranou a svaření sadou periferních stavěcích šroubů s hrotem M4 DIN 914



Obrázek 2 - Řezný nástroj na testovacím přípravku



Obrázek 3 - Testovací přípravek - "první prototyp"

Var.1 se silně neosvědčila, kdy při nižší teplotě došlo sice k perfektnímu svaření. Ale nedošlo k řezu, a při teplotě kdy došlo k řezu se textilie odřízla i uvnitř mezikruží a přiškvařila se k nástroji.



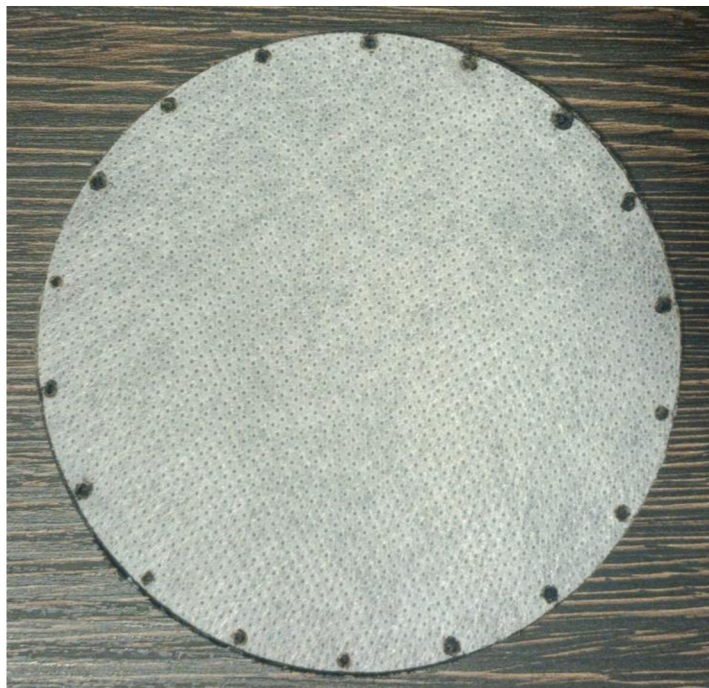
Obrázek 4 - mřížka svařená s textilií nástrojem s mezikružím

Var.2 byla výrazně slibnější, stále docela jednoduchá na výrobu, ale velmi obtížná na údržbu, hlavně čištění. Při sváření je vždy nějaké malé množství zanecháno na svářecích výstupcích.



Obrázek 5 - mřížka svařená s textilií nástrojem s mezikružím s předěly

Var.3 dobré výsledky svárů i ořezu, možnost seřízení jejich vzájemné výšky jednoduchým zašroubováním stavěcích šroubů, a tudíž možnost přesoustružení rezné hrany. Přijatelná čistitelnost, dostupnost k náhradním dílům a její servis.



Obrázek 6 - mřížka svařená s textilií nástrojem se stavěcími šrouby"



Obrázek 7 - mřížka svařená strojem, s nesouosým nástrojem během testování.

1.3 Funkční prototyp odpovídající návrhu technologie

S těmito zjištěními bylo provedeno i měření přibližných teplot, a následně byla schválena výroba minimálního funkčního prototypu technologie, viz. Obr. 2. Ten se skládá pouze z nezbytně nutných mechanických prvků, potřebných pro odzkoušení koncepční funkčnosti návrhu stroje. Zde bylo ořezáno vše krom turniketu a mechanismu pro sváření mřížek a přímou manipulaci textilie v oblasti sváru.

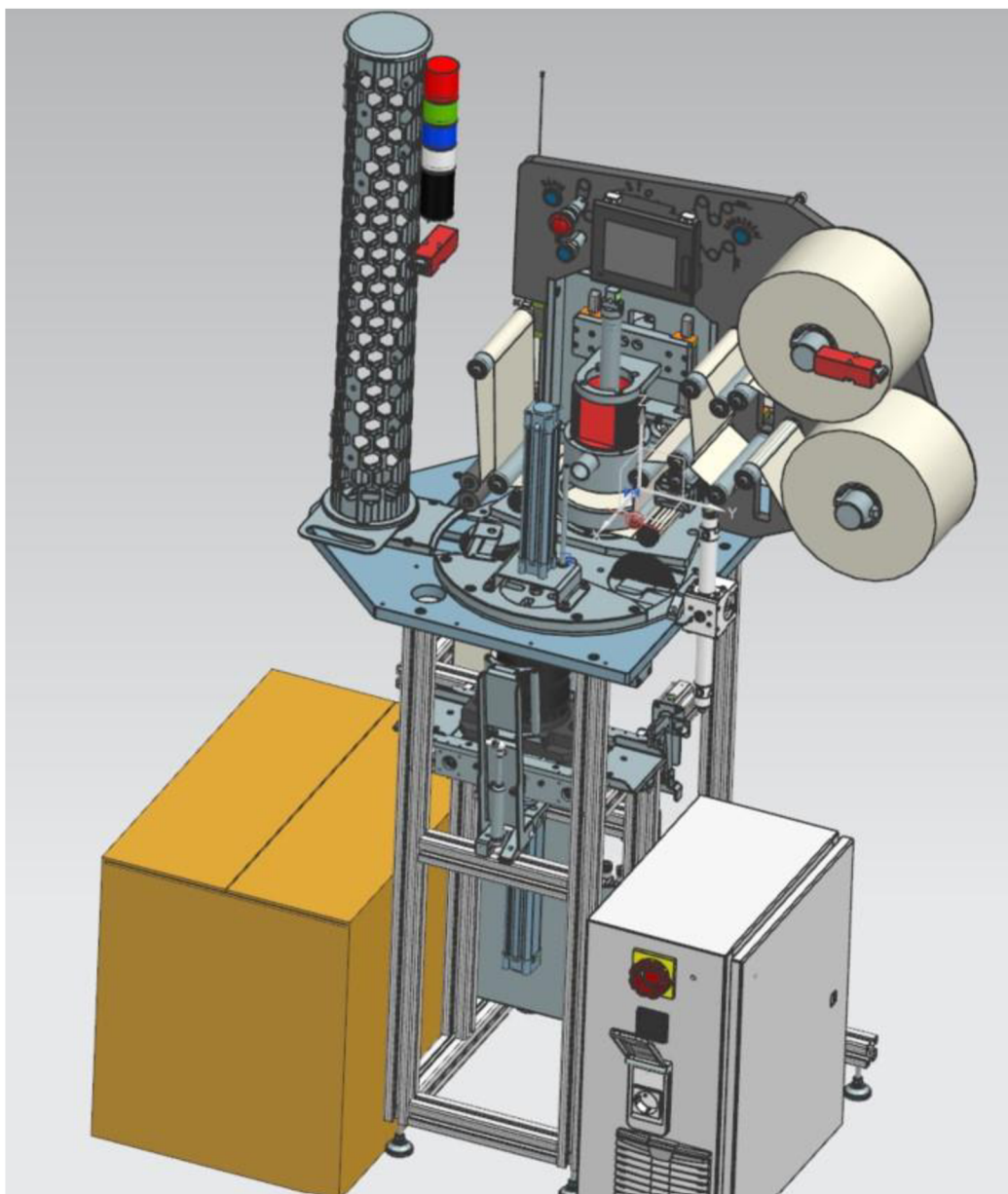
I přes obtíže s ruční manipulací textilie a synchronní operace ovládacích prvků na ne-úplně responsivním HMI (Human Machine Interface), bylo nakonec zhotoveno dostatečné množství vzorků pro odzkoušení chování při různých teplotách, koncových pozicích řezu a množství vrstev textilie. Většina vzorků ukázala na dobrou proveditelnost i s více vrstvami textilie, a přijatelnou kvalitu sváru pro mechanickou manipulaci bez obav o separaci od plastového substrátu.

Zároveň na tomto prototypu začalo docházet k odlaďování programu, a doplňování o nice-to-have funkcionality, zatímco byla nová, kompletní základní deska zadána do výroby společností GT Trade s.r.o. Ta byla vybrána ze 4 poptávaných obrobů jako jediná, která měla dostatečně velkou frézku na obrobení bez kolize s kryty.

Výroba nové základní desky byla zhotovena během ledna 2024, kdy byl stroj postaven i na vlastní rám, a byl průběžně ostrojen až do semi-finální podoby. Ta je dána kvůli momentálnímu plánovanému využití pro standalone výrobu mřížek bez integrace do linky a přístupu k technologickým paletám. Tudiž některé funkcionality nejsou momentálně zapotřebí, jako je např. integrovaná stopka technologické palety.

Praktická část

2 Mechanická konstrukce stroje



Obrázek 8 - Návrh konstrukce stroje, bez zobrazených krytů

Stroj se skládá z rámu, horní a spodní technologie, krytů a rozvaděče. Stroj také obsahuje 9 pneumatických prvků, dodaných firmou Stránský a Petržík, Pneumatické válce spol. s.r.o, která dodávala také všechny pneumatické rozvaděče, koncové snímače pístů a všechno příslušenství pneumatického rozvodu viz. příloha E. Všechny pneumatické prvky byly dimenzovány na základě vzorečku pro ideální sílu válcového pneumatického pístu bez započtení dynamických odporů.

$$F_{FW} = \frac{\pi * D^2}{4} * P$$

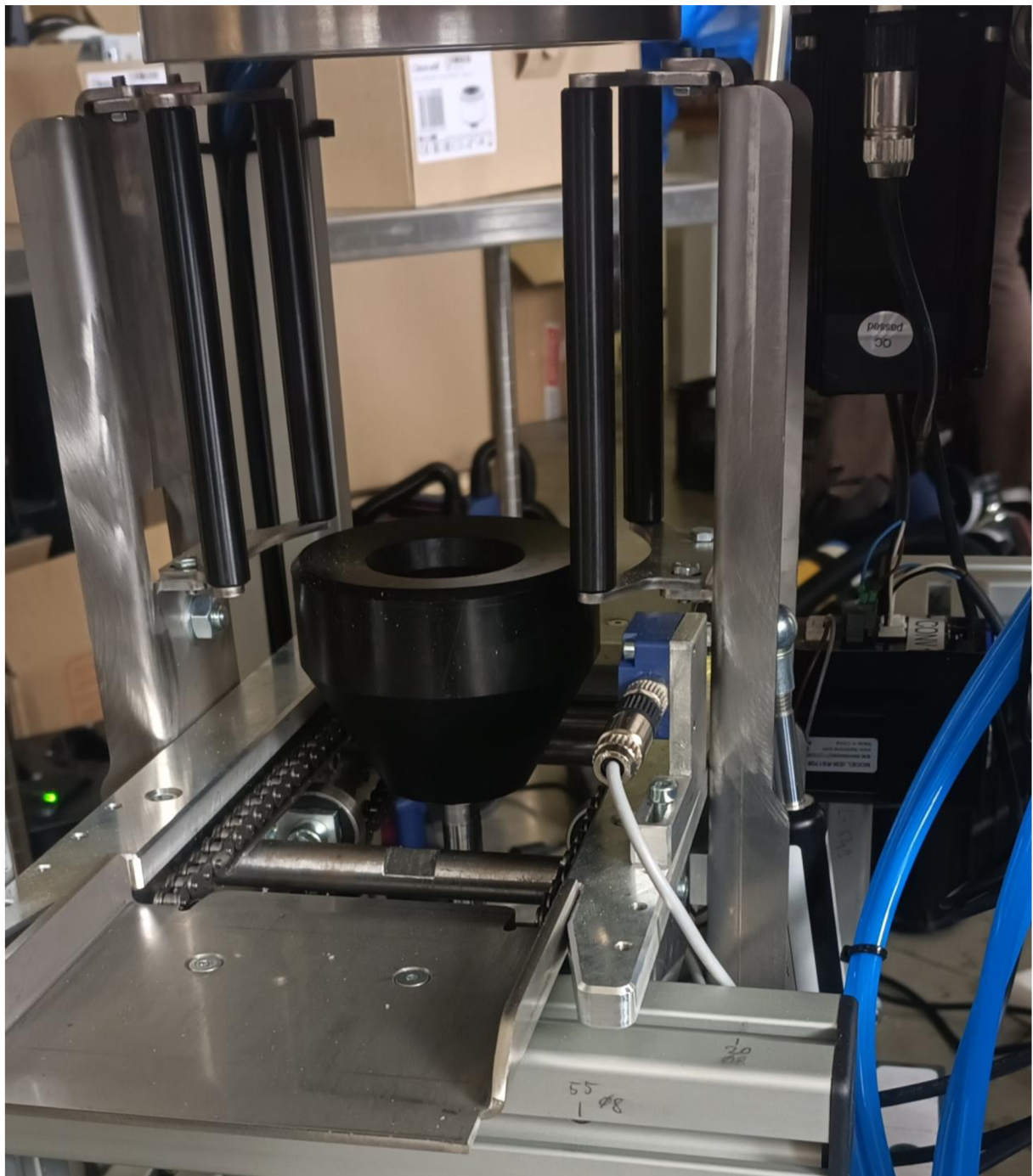
$$F_{Rev} = \frac{\pi * (D - d)^2}{4} * P$$

Rovnice 1 a 2 – Ideální síla pístu (D – průměr pístu, d – průměr pístnice, P – Tlak)

Dosažením do rovnic byly vytipovány komponenty se započtením bezpečnostního koeficientu, a hnacím tlakem 5 barů. U většiny pístů je výsledná síla jak v dopředném, tak i zpětném pohybu nadbytečná, ale byly zvoleny kvůli standartní konstrukci a rychlé a spolehlivé dostupnosti dodavatelem. Jediný píst, u kterého byly tyto hodnoty relevantní, je píst zdvihu těla filtru, který musí být zároveň silnější, nebo alespoň stejně silný než píst zakládání mřížky, a zároveň nepřilíš silný, aby tělo filtru nerozdrtil, nebo jinak nepoškodil. Tato hranice je stanovena kolem 250 kgf, přičemž minimální síla je stanovena třecím odporem mřížky oproti tělu filtru, která byla experimentálně změřena na dvojici vzorků s nejhorsími tolerancemi jako 25 kgf. Při výše zmíněných 5 barech dosahuje válec zdvihu o průměru 32mm přibližně 40 kgf, což je bezpečně v rámci stanovených hranic. Zároveň ošetření vzájemné síly pístu zdvihu těla filtru a pístu zakládání mřížky je ošetřené tím, že mřížka je zakládána pouze v situaci, kdy je tělo filtru v pracovní pozici, tlačeno konstantní silou, a tudíž by píst zakládání mřížky musel překonat nejen tuto sílu, ale i sílu potřebnou k „odtrhnutí“ těsnění ve válci zdvihu.

Rám je skládaný z hliníkového profilového systému SP5050 (plně kompatibilní se standartními 40x40 profily), pomocí šroubových spojů.

Spodní technologie je koncipovaná jako univerzální součást, integrovatelná do jakéhokoliv stroje, jež má být součástí linky. Jejím úkolem je nabrání technologické palety na řetězový dopravník poháněný krokovým motorem, detekce její přítomnosti na pracovní pozici indukčním senzorem, a následnou vertikální manipulaci s tělem filtru z technologické palety pneumatickým pístem (označení *Can-UP* a *Can-DN*, 2 koncová čidla). Tělo filtru je zároveň vedeno pomocí tzv. klapáček, to jsou plechová ramena s kluznými ližinami z kulatiny POM, předepnutá do pozice pneumatickými pružinami.



Obrázek 9 - Spodní technologie, částečně vysunutý píst zdvihu těla filtru

Horní technologie je založená na základní desce, na které s mřížkami mezi pracovními pozicemi pohybuje turniket. Pracovní pozice jsou celkem 4, nabírání „čerstvých“ mřížek z vertikálního zásobníku, svářecí pozice, pozice obrácení mřížky a pozice založení mřížky do těla filtru.

Nabraní mřížky je prováděno pneumatickým pístem (označení *Grid-Push*, 2 koncová čidla), a detekce mřížky je prováděna plastovým kluzákem s indukčním snímačem. To je bohužel jediný spolehlivý způsob detekce mřížek, kvůli děrované nátuře mřížek, která komplikuje optickou detekci.

Pracovní pozice disponuje motorizovaným válcem pro posun textilie a systém napínacích válců, které zajišťují dostatečné opásání. Dodatečně je zde přítomna optická brána značky leuze schopná detekce přítomnosti textilie, ačkoliv by přetržení nebo absence textilie byla zjištěna tanečníky jednotlivých rolí. Tento systém je umístěn na pojízdné základně, ovládané pístem (označení *Cloth*, 1 koncové čidlo), což slouží k odtržení případných zbývajících vláken, a zároveň k odtažení textilie od horkého nástroje. Dále horký nástroj je také umístěn na pojízdné základně, na stejné sadě lineárních kolejnic jako *Cloth*, a je ovládán pístem s analogovým odměřováním lineární polohy (označení *Cut*). Mřížka je do polohy sváření zdvihána pístem s platformou vedenou v lineárních vedeních (označení *Grid-Lift*, 2 koncová čidla) kvůli vyšším požadavkům na tuhost, než by byla schopná poskytnout samotná pístnice.



Obrázek 10 - Horní pracovní pozice, sestava horkého nástroje a neosazený otáčeč mřížky

Otočení mřížky je prováděno rotačním pístem (označení *Grid-Flip*, 1 průběžné čidlo) značky Stránský a Petržík, který zpřevodovává dvojici lineárních pístů pomocí hřebenu na přesné otočení o 180°.

Založení mřížky zajišťuje 1 píst (označení *Grid-Insert*, 2 koncová čidla) s tlačným „talířkem“. I přes velmi jednoduchý účel této pozice je mechanicky komplikovaná, protože mřížka nesmí propadnout zakládací dírou svévolně, a musí být do filtru protlačena, aby bylo zamezeno jejímu nekontrolovanému otočení, a zároveň bylo umožněno mít mřížku v zásobě. To je zaručeno sadou 4 pružinou předepnutých pacek, které zároveň umožňují i přejezd mřížky přes tuto pozici. Následkem toho je ale zapotřebí mít v tlačném talířku vřezy pro tyto packy, a musí být také veden proti otočení.

Kryty jsou konstruovány jako ohýbané a lakované díly z 2 mm hliníku, montované na části rámu, nebo pomocný rám svařený z ocelového L-profilu 50x50x5. to umožňuje mít 2 nezávisle otevíratelné dveře pro přístup obsluhy. Ty jsou vybaveny západkami značky KIPP a madlem se zamykacím mechanismem, a pro účely bezpečnosti dvěma bezpečnostními snímači zavření.

Rozvaděč je koncipován netradičně, kvůli limitacím na zástavbový prostor jsou eliminovány svorkovnice, které jsou nahrazeny sadou průmyslových M23 konektorů umožňující rychlou montáž a demontáž, a přijatelnou míru servisovatelnosti. Zároveň jsou vybrány tak, aby byly nezaměnitelné v případě citlivých okruhů. Jsou zároveň rozděleny do funkčních celků podle cílového rozbočovače (pasivní rozbočovače výrobce Murrelektronik GMBH [dále pouze MURR], série 8000-88510) na:

- Výstupy pro ovládání pneumatických ventilů
- Vstupy pro senzory pístů a senzorů nezbytně nutných pro technologii
- Bezpečnostní signály a pomocné ovládací signály z tlačítek obsluhy
- Analogové vstupy a rezervní digitální vstupy
- Výstupy pro signalizační zařízení a zařízení odvětrání spalin
- Napájení a digitální komunikace motorů

Zbytek vývodů je proveden konvenčními vývodkami, a to:

- hlavní elektrický přívod
- napájení topných elementů nástroje
- Ethernet připojení k HMI obrazovce

Všechny tyto vývody jsou provedeny skrze záda rozvaděče, takže rozvaděč sedí dnem na zemi. To díky masivní konstrukci z 1.5mm oceli firmou Kovopol Industry s.r.o. není problémem, a díky filtrovanému sání a výfuku ventilátoru chlazení nehrozí průnik nečistot do vnitřního prostoru rozvaděče.

3 Elektrická konstrukce

Díky nízkým ztrátovým výkonům a vysokým efektivitám aktivních prvků elektrického vybavení uvnitř rozvaděče je celkový ztrátový výkon v rozvaděči přijatelně nízký, ale vzhledem ke snaze o maximalizaci životnosti byly nejen komponenty rozmístěny na redukci lokalizovaných horkých míst, ale také byl rozvaděč vybaven aktivní ventilací RITTAL, stejně jako všechny ostatní stroje linky.

3.1.1 Řídící systém

Stroj je řízen PLC (Programmable Logic Controller) FX5U-32MT-ESS značky MITSUBISHI electric, dodané společně s HMI GOT2505-VTBD firmou ACCS s.r.o. Tento model PLC byl vybrán kvůli výhradnímu používání této série ve firmě, dobré dostupnosti a rozšiřitelnosti moduly. Toho bylo v tomto případě využito pro vícekanalové analogové měření pozic tří tanečníků a jednoho lineárního posuvu.

Všechny série PLC Mitsubishi s aktivní podporou podporují trojici standartních programovacích jazyků: ST (Strukturovaný Text), Ladder a FB (programování pomocí Funkčních Bloků). Z označení PLC je možné vyčíst všechny relevantní informace o typu PLC, konstrukci, počtu a typu vstupů a výstupů, ve formátu např. FX5U-32MT-ESS viz. tabulka 1. Stejná logika pojmenovávání platí i pro moduly příslušenství, mezi které patří vstupní, výstupní, analogové vstupní, výstupní a měřicí karty, pohybové, komunikační, napájecí, poziční a konverzní moduly. ^[1]

Řada	Počet IO	Typ výstupu	Napájení + polarita polovodičového IO
FX5U – zabudovaný ethernet, 2x AI, 1x AO, 1x RS485	32 – 16 In a 16 Out	MT – polovodičové výstupy	ES - 100 – 240 VAC Sink - NPN logika
	64 – 32 In a 32 Out		ESS - 100 – 240 VAC Source – PNP logika
	80 – 40 In a 40 Out	MR – relátkové výstupy	DS – 24 VDC Sink - NPN logika
	96 – 48 In a 48 Out		DSS – 24 VDC Source – PNP logika

Tabulka 1 – Organizace označení PLC Mitsubishi

Propojení k externí technologii, nadřazenému řízení linky a programátorskému prostředí je zprostředkováno přes pěti portový switch, přičemž pro externí připojení je rezervována jedna vývodka z rozvaděče, a pro programátorské připojení je rozvaděč vybaven výstupní servisní CEI-23-16 zásuvkou a RJ45 konektorem formou MSDD modulu značky MURR.

Řízení teploty nástroje obstarává samostatný regulátor E5CC značky OMRON, vybavený komunikační sběrnici MODBUS-RTU. Ten byl vybrán specificky kvůli této sběrnici, a faktu že byl včetně implementace výrazně levnější než rozšiřující karta PLC, která by umožňovala měření teploty čidlem PT100.

3.1.2 Pohybové systémy

Sběrnice MODBUS RTU byla od začátku důležitá kvůli použití integrovaných servo - krokových motorů série IC-S značky LEADSHINE. Ty nabízejí klasické schopnosti servomotorů (např. rychlostní a poziční řízení, rozsáhlý debug, široké schopnosti pomocí komunikace, předdefinované Point-To-Point programy atd.), v kombinaci s nízkým napájecím napětím, standartními rozměry a nízkým odběrem na který jsme zvyklí od krokových motorů. Navíc jsou ale díky integrované zpětné vazbě schopné dodatečného snížení spotřeby, není-li jejich pohyb aktivně vyžadován příkazem nebo externím zásahem. Zásadním prvkem při jejich selekci byla i cena, která je téměř na 1/15 ceny nejlevnějších servomotorů značky Mitsubishi, se kterými jsem navíc měl velmi nedobrou zkušenost na předchozím stroji.

Vstupy a výstupy jsou řešeny pomocí pasivních rozbočovačů s integrovaným kabelem. To je už odzkoušená konstrukce na našich nejšpinavějších strojích jako extrémně odolná, a jednoduchá na servis. Díky standardizovanému připojení snímačů a aktuátorů pomocí konektorů M12 a M8 je navíc umožněno použití modulárních Y rozbočovačů u lokace příslušných pístů, kde jsou 2 snímače spojeny do jednoho konfekcionovaného kabelu. Všechny kabely a příslušné konektory jsou také od firmy MURR.

Silové spínání výstupů (brzdy, topení, ventilátor a osvětlení) je zprostředkováno pomocí relátkových modulů Phoenix Contact, které sice trpí na redukci přípustného proudu na polovinu při cca 60°C, ale díky dostatečnému předdimenzování, aktivnímu chlazení a přerušovanému spínání není nikdy tento stav dosažen. Polovodičové interfeisové relé pro 24VDC zátěže a 230VAC nízkovýkonové zátěže nejsou touto redukcí omezeny. Tato série relé byla vybrána kvůli bezkonkurenčním zástavbovým rozměrům, možnosti polovodičových spínačů namísto jazýčkových relé a přijatelné ceně.

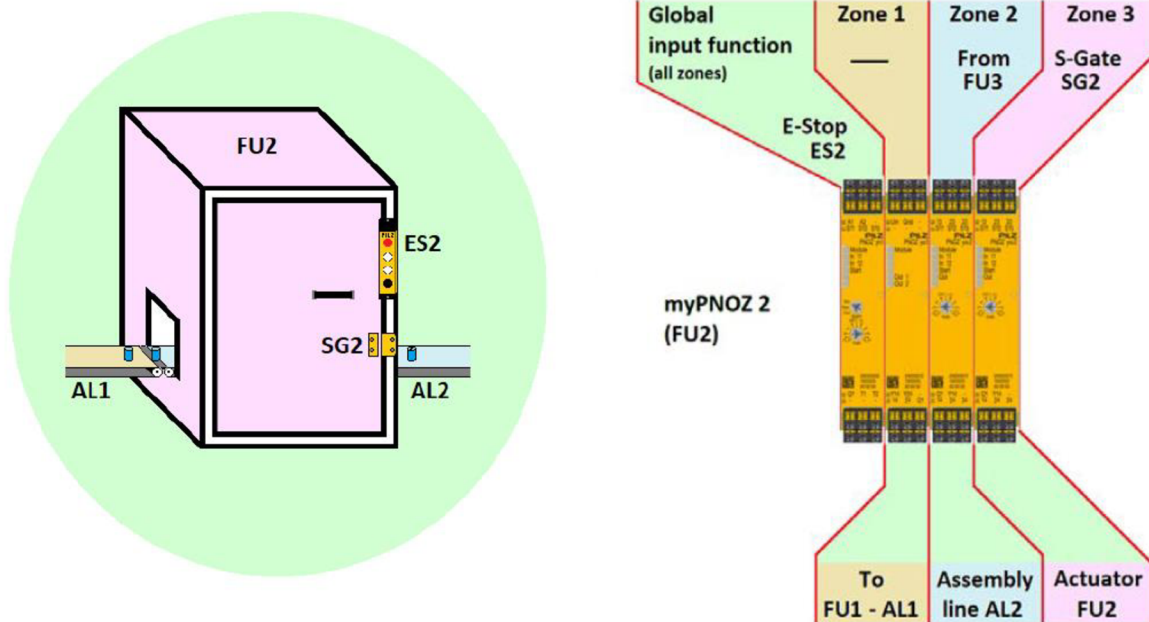
3.1.3 Napájení stroje

Napájení stroje je provedeno skrze hlavní sadu jističů, separující systémy na: PLC a Termoregulace, Napájení pomocného 24V zdroje, Topení, a Servisní zásuvka. PLC FX5U navíc disponuje vlastním spínaným zdrojem, který je využíván pro napájení citlivější elektroniky s nízkým odběrem, a to: ethernet switch, HMI, spínaný měnič 24v-10v pro analogové vstupy. Pomocný zdroj MEANWELL NDR-480-24 napájí ostatní okruhy: motory, elektromagnetické brzdy rolí tkaniny, vstupy a výstupy, bezpečnostní okruhy a ostatní. Každý z těchto okruhů je jištěn vlastním termomagnetickým nadproudovým jističem z řady UT 6-TMC značky Phoenix Contact. Ty byly zvoleny kvůli jejich značné prostorové úspornosti a příznivé ceně, i přes horší dostupnost.

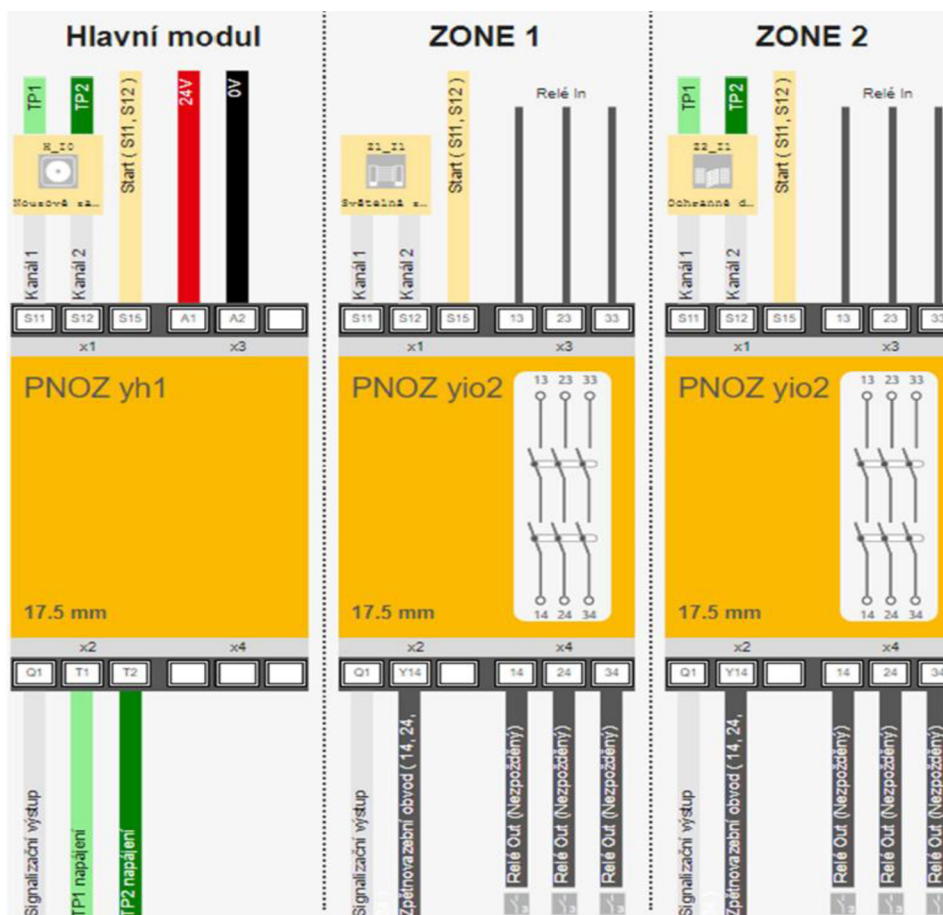
3.1.4 Bezpečnostní systém

Bezpečnost je řešena pomocí okruhového modulárního systému myPNOZ značky PILZ. Ten funguje na principu nadřazeného okruhu, v tomto případě je to okruh 2 ESTOP tlačítek ve stroji a externí ESTOP signál z linky, a volitelného počtu podřízených obvodů, v tomto případě jednoho okruhu dvou bezpečnostních snímačů dveří, a jednoho okruhu optické brány. Ta je ve výsledném stroji ale vynechána, kvůli kompletnímu zakrytování příchozí i odchozí cesty palety po dopravníku. Okruh ESTOP a dveře využívá navíc interně generovaných pulzních signálů pro

detekci přerušení, nebo naopak spojení obou snímacích vodičů, ať už mezi sebou, proti zemi nebo vůči napájecímu napětí. Bezpečnostní okruh je po každém zásahu, ať už ESTOP nebo dveřního okruhu zapotřebí resetovat tlačítkem RESET BEZPEČNOSTI obsluhou, neboť bezpečnostní obvod je obnovován pouze na jeho náběžnou hranu. Podsvícení tohoto tlačítka je prováděno výstupem PLC. Efektem bezpečnostních okruhů je odpínání řídicích signálů pneumatických solenoidů řídicích pneumatické písty v dané oblasti, a tím dojít k prevenci zmáčknutí, skřípnutí nebo jinému úrazu pneumatickým prvkem s nebezpečnou silou. Signál o provedení nouzového zastavení a jeho typu je zpracován i PLC, které vyšle po sériové lince do 150ms příkaz k zastavení všech motorů, a zastaví průběh procesního cyklu do bezpečného stavu.



Obrázek 11 - ilustrace ukazující separaci zón [2]



Obrázek 12 - Návrh bezpečnostního systému z MyPNOZ Configuratoru

3.1.5 Ovládací a signalizační prvky

Mezi Interaktivní prvky patří tlačítka uvnitř a vně krytů, kde je vždy přítomno tlačítko ESTOP, uvnitř jsou ale také tlačítka pro manuální odbrzdění elektromagnetických brzd rolí tkaniny značky Teleco Freni s.r.l. a manuální sepnutí odtahu tkaniny do sběrací krabice. Tyto prvky jsou zde přítomny pro ulehčení zavádění nové tkaniny. Vně je přítomno pouze dříve zmíněné tlačítko pro reset bezpečnosti. Všechny tyto prvky jsou ze série XB7 výrobce Schneider electric. Stav stroje a požadavek o zásah obsluhy je zobrazován formou příkazu na HMI a pro lepší viditelnost i majákem MODLIGHT50 Pro výrobce MURR.

3.2 Nutné podklady pro řízení

3.2.1 Sériová komunikace

Podmínkou pro správnou funkci stroje je plně funkční sériová komunikace. Ta je implementována jako MODBUS-RTU po fyzické vrstvě RS485. Tu využívají motory a teplotní regulátor, ten zároveň také určil maximální rychlost komunikace, tzv. Baud Rate, který vyjadřuje počet přenesených znaků za sekundu, a to 57600 Bd/s.



Setting data

■ Descriptions, ranges, and data types

Operand	Description	Range	Data type	Data type (label)
(s1)	Slave station No.	0 to F7H ¹	16-bit signed binary	ANY16
(s2)	Function code	01H to 06H, 0FH, 10H	16-bit signed binary	ANY16
(s3)	Function parameters depending on the function code	0 to FFFFH	16-bit signed binary	ANY16
(s4)	Function parameters depending on the function code	1 to 2000	16-bit signed binary	ANY16
(s5)/(d1)	Function parameters depending on the function code	—	Bit/16-bit signed binary	ANY_ELEMENTARY ²
(d2)	Head bit device number to which the execution status of the communication is output	—	Bit	ANYBIT_ARRAY (Number of elements: 3)
EN	Execution condition	—	Bit	BOOL
ENO	Execution result	—	Bit	BOOL

Obrazek 13 - Ilustrace z dokumentace po sériovou komunikaci Mitsubishi IQ-F ^[3]

Funkční blok (dále pouze FB) pro komunikaci skrz modbus RTU je ve vývojovém prostředí GX Works3 zvaný ADPRW. Disponuje všemi potřebnými vstupy pro určení cílového registru pro komunikaci. Nejdůležitějším je adresa cílového zařízení (S1), a uvolňovací binární vstup (EN), který spouští komunikaci. Dále funkční kód (S2), který je standartní pro modbus RTU komunikaci, který určuje, jaká operace, případně jestli s jedním nebo více registry je prováděna (0x3 čtení N registrů, 0x6 zápis 1 registru, 0x10 zápis N registrů atd.) a na něj navazující počet registrů (S4) určených k interakci. Samozřejmě je zapotřebí specifikovat i „hlavový“ registr (S3), od kterého je počet registrů počítán, a data k zápisu nebo specifikace registru na výpis vyčtených dat (S5/D1). výstupní stavový registr se chová jako 3-bitové pole, kde první bit značí aktivní komunikaci, druhý úspěšnou kompletaci komunikace a třetí neúspěšnou kompletaci komunikace.

využívání druhého stavového bitu je velmi výhodné, a já ho hojně využívám, jako SR latch, proti vzájemnému blokování komunikace. Toho lze dosáhnout tak, že FB je předřazen rozpínací kontakt, obsahující druhý stav. bit. Jakmile je tedy FB zavolán, provede komunikaci, a je-li v rámci 3 pokusů úspěšný, nastaví 2. stav. bit, čímž se zablokuje. Není tudíž kontinuálně volán, a nezabírá tak více komunikace než pouze jednu zprávu. Tato taktika v kombinaci s úvodním resetem stavového bitu při každé nástupné hraně (MEP) volání FB, umožňuje velkou úroveň designové volnosti.

Teplotní regulátor má pro funkci stroje pouze 2 zajímavé registry, a to čtení naměřené teploty (0x2000), a zápis požadované teploty (0x2103), přičemž oba jsou širě jednoho 16 bitového integeru, a nabývají hodnoty -32768 – 32767, to umožňuje dosáhnout přesnosti na 0.1C°, formou přenosu teploty jako Temp*10.

Motory výrazně nabývají na schopnostech při využití stavových registrů a registrů pro ovládání jednotlivých parametrů PR módů, to ale není při této realizaci potřebné. Je zde využit jeden stavový registr (0x1003), jež popisuje:

Motion status

Bit NO.	Read value =1 means
Bit0	Fault
Bit1	Enable
Bit2	Running
Bit4	Command completed
Bit5	Path completed
Bit6	Homing completed

Obrázek 14 – Popis stavových bitů stavového registru motorů ICS ^[4]

Toho je využíváno k detekci úspěšného dokončení otáčky turniketu, podání látky a úspěšného uvedení do výchozí pozice. Tyto příkazy jsou volány pomocí PR-Mode, které jsou vyvolatelné pomocí zápisu jediného integeru do registru (0x6002), kde je možné volat až 16 různých příkazů, ESTOP, homing, okamžitý manuální homing a vyčítat stav příkazu.

Každý z PR módů je konfigurovatelný buď pomocí zápisu po sériové lince MODBUS, nebo pomocí servisního adaptéru RS232 v konjunkci se servisním softwarem od firmy Leadshine, který umožňuje tyto režimy tabulkově upravovat. Zároveň je software určený ke sledování pracovních veličin a seřizování proměnných motoru. Tyto PR módy lze také zastavovat pomocí externích vstupů, kterými jsou všechny motory vybaveny. Jednotlivé PR módy je zároveň možné provázat mezi sebou s nastavitelným časovým prodloužením, takže lze vytvořit automat citlivý na vnější podnět. Toho je využito na motoru řetězového přesouvače technologických palet, který je zavolán jednou, a jede konstantní rychlostí po dobu 15 sekund nebo dokud není přerušeno signálem ze snímače palety.

Další velmi užitečným registrem je Control word (0x1801), který slouží k ovládání jiných funkcí motoru, jako např. reset alarmů, reset a ukládání parametrů v EEPROM paměti, a pro nás nejzajímavější JOGOvání. To je ruční řízení otáčkami, kde po dobu posílání příkazu + 50ms je motor poháněn daným směrem. Registr se při každé této 50ms periodě resetuje.

3.2.2 Interní stavy

Každý stroj využívá stavů, ať už jsou to systémové bity nebo registry, paměťové nebo i procesní stavové bity. V případě PLC Mitsubishi se jedná o systémové bity SM, systémové registry SD, paměťové bity M, chybové hlásiče F, registry R, D, L atd. a stavové bity S. systémové bity a registry slouží převážně jako konfigurační proměnné a identifikátory HW a SW stavů, zatímco zbytek je čistě na konfiguraci programátorem. V tomto stroji byla už při koncepci software rozvrhnutá „mapa“ stavových bitů dle funkčních celků:

- S0 – S20 homing (uvedení do výchozí pozice)
- S30 – S40 stavy výrobku a technologické palety
- S41 – S50 stavy stroje
- S220 – S230 stavy popisující žádost o zásah obsluhy
- F0 – F20 chybové annunciátory
- M – paměťové bity volně k rozebrání
- D – paměťové 16 bit integeru volně k rozebrání

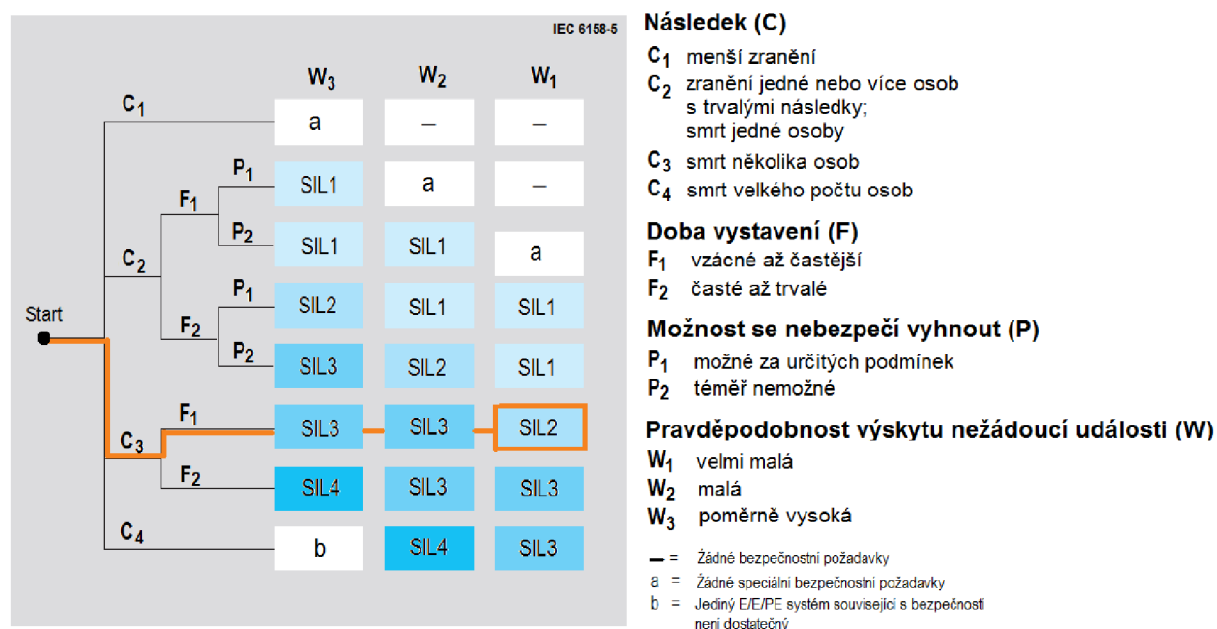
3.2.3 IO signály

Stroj je stále řízen pomocí napěťových dvoustavových signálů, které jsou mezi 0V a 24V. všechny snímače byly vybrány tak aby tuto podmínku splňovaly, zároveň však nedisponují žádnou inteligentní funkcionalitou jako např. diagnostické pulzování výstupního signálu jako ukazatel hranice stability nebo i chybu.

3.2.4 Bezpečnost stroje

Posouzení rizika stroje je provedeno podle ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení –Všeobecné zásady pro konstrukci –Posouzení rizika a snižování rizika dosazením do diagramu rizika podle IEC61508–5 (příloha E). [5]

Dodatečně bylo využito ukázkových tabulek z aplikačního listu MyPNOZ [2] které jasně ukazují, že v doporučených kombinacích snímačů a vyhodnocovacího systému MyPNOZ je bezproblémové dosáhnout SIL 3.



Obrázek 15 - Ukázka výběru SIL úrovně, převzato z prezentace „FBS08-SIL“ [6]

Z příloženého vyhodnocení FMEA (Failure Mode effect analysis) je zřejmé že pomocí včasných opatření ve fázi návrhu byla rizika stroje minimalizována, a zároveň byla zhodnocena i stránka procesní spolehlivosti stroje s možností výpadku jednotlivých komponent. Z tohoto vyhodnocení vzešla minimální žádaná třída bezpečnostního systému jako SIL 1.

PLC je informováno o stavu bezpečnostních prvků formou napěťových signálů z polovodičových výstupů bezpečnostních relé, která monitorují stav dveří, stav optických závor (ty jsou nakonec vynechány, kvůli integraci do linky, kde jsou dopravníky do a ze stanice zakrytovány) a stav nouzového zastavení. Ten bezpečnostní moduly převádí na relátkový výstup sloužící k přerušení ovládacích signálů do potenciálně nebezpečných pneumatických prvků v dané oblasti stroje. Ty byly vybrány jako potřebné k ošetření přímým zásahem bezpečnostního okruhu díky FMEA analýze provedené během fáze mechanického návrhu. Signály do PLC jsou použity k pozastavení, alternaci funkcionality nebo kompletnímu zastavení programu.

4 Struktura řídicího algoritmu

Prvně, proč byly zvoleny tyto struktury algoritmů, strukturování programu a příkazy? Odpověď je jednoduchá: protože se jako programátoři neustále vyvíjíme, a ačkoliv se neustále zlepšujeme a učíme, tak stále navazujeme na to, co jsme se naučili zpočátku, a pořád si tyto informace třídíme a užíváme je v kombinaci s našim vlastním stylem uvažování. Takže, ačkoliv je tento můj styl tvorby programu třeba pro někoho těžko pochopitelný, nebo si třeba někdo říká že by něco udělal jinak, tak je to subjektivní volba, kterou má každý z nás jinak unikátní.

4.1.1 Segment HOMING

Každý cyklus stroje začíná uvedením do výchozí polohy. Protože stroj není schopen vědět v jakém stavu jsou existující pozice, je potřeba všechny vyprázdnit, a protože není také spolehlivě jasné v jakém stavu se po zapnutí nebo po nouzovém stavu nachází turniket, je jeho uvedení do výchozí pozice nezbytně nutné. **K datu tvorby bakalářské práce je stále problém s elektromotorem „backlash“ motoru.** Ten musel být tedy řešen operativně, a liší se podle toho, je-li při uvádění do výchozí pozice přítomná mřížka v pozici 1 turniketu, která způsobuje vyšší třecí odpor. Je-li tedy po prvním uvedení turniketu do výchozí pozice detekována mřížka, je zapsán jiný offset výchozí pozice, a je její uvedení provedeno znovu. Tím byla eliminována chybovost systému na minimum. Přesná pozice turniketu je extrémně důležitá pro všechny 4 technologické pozice, kde po zdvihu mřížky do svařovací pozice je tímto jezdcem zároveň turniket i aretován v přesné poloze. Tuto polohu zároveň potřebuje i zakladač mřížky, který má velmi malé tolerance k hranám, a není schopný při výchylce turniketu vyšší než 2mm (na roztečné kružnici) založit mřížku.

Každý z kroků uvádění do výchozí pozice je signifikován jedním stavovým krokem (S0-S11), které jsou indikovány na domovské obrazovce HMI při zadání nejvyšší úrovně servisního hesla.

Ke zjišťování funkcionality pístů a jejich snímačů byl navržen algoritmus který daný píst procykluje, přičemž se sleduje odezvu koncových snímačů, a kontroluje, jestli není překročen rozumný interval pro jejich dosažení. Pokud toto není splněno, je vyhlášena chyba, která může znamenat ztrátu tlaku, zaseknutí solenoidu nebo pístu, nebo poruchu na koncovém snímači.

Cyklus uvedení do výchozí pozice začíná inicializací relevantních programových proměnných (stavy pozic, kroky procesu, byl-li přerušen nečekaně atd.) a posláním teploty 25°C do teplotního regulátoru, pokračuje zasláním příkazu motoru řetězového dopravníku na vyprázdnění, to je provedeno sepnutím PR módu 0xF, který motor otočí o 40 otáček konstantní rychlostí. Následně je provedena kontrola pístu vyhazovače mřížky ze svařovací pozice, tím je zaručeno že se mřížka ve svářecí pozici nevzepře mezi turniketem a rámem. Další je zaslání příkazu pro homing turniketu, který je doplněn o výše zmíněnou obfuskaci s ovlivněním třením. To znamená, že se může tento krok opakovat 2x. Potom je provedeno zbavení se všech mřížek existujících v turniketech, to je provedeno pětinasobným otočením turniketu o jednu pozici a vytlačení mřížky na 4. pozici. Poté je nabrána nová mřížka ze zásobníku. To je také provedeno samostatným algoritmem, který kontroluje funkcionality pístu, a zároveň počet pokusů o nabrání mřížky, když ten přesáhne 3 pokusy tak je pozastaven a je vyhlášena žádost o doplnění mřížek do zásobníku. Došlo-li ke správnému nabrání mřížky, pokračuje program na další krok,

a to je kontrola všech ostatních pístů, které nemají vliv na vnější stav vzhledem k lince, tj. z této kontroly je vyřazena kontrola funkcionality pístu stopky technologické palety. Jakmile je zjištěna správná funkce pístu zdvihu mřížky a otočení mřížky, je otestován píst zdvihu filtru. Ten je testován podobným algoritmem, ale kvůli řízení ventilem 5/3 s odvětranou střední polohou mohl píst zůstat téměř kdekoli (ačkoliv byl na začátku cyklu sepnut pro chod dolů, je lepší být připraven na jakoukoliv situaci), a je proto vybaven ošetřením stavu kdy píst není ani na jednom koncovém snímači, nebo je na kterémkoliv z obou koncových snímačů. Podle toho je rozhodnuto, kterým směrem bude otestován, opět výstupní stavy tohoto bloku jsou OK nebo ERROR. Tyto kontroly byly podmínkou pro pokračování, kdy je turniket otočen o jednu pozici, a tím mřížku nabranou ze zásobníku přesouvá do pracovní pozice. V tento moment, kdy je zjištěna správná funkce celé mechaniky systému a jeho připravenost, musí dojít k rozhodnutí, zda má být homing proveden včetně odměření pozice dotyku, nebo ne. To určuje obsluha. Jestli nemá, pak jsou přeskočeny kroky S8-S10, a dochází k poslední kontrole a nastavení obsazenosti pracovní pozice, tím je uvedení do výchozí pozice ukončeno. Má-li ale být zkalibrována pozice, je nejdříve zkontrolováno, je-li teplota nástroje pod bezpečnou teplotou. Byla-li by nad ní, měl by nástroj tendenci se vtavit do mřížky, a to by způsobilo offset svářecí pozice. Je-li teplota bezpečná, je mřížka vyzvednuta do pracovní pozice. Zde je opět kontrolováno, jestli nedošlo k zaseknutí pístu, pouhý odhad není při této operaci přípustný. Jakmile je mřížka zdvihnuta, je stlačen nástroj na kontakt, podle sledování posledních 5ti vzorků a jejich diference při periodě vzorkování 200ms určí je-li nástroj ve stabilní poloze. Jakmile je, je jeho pozice uložena jak o referenční pozice řezu. K ní je poté přičítán offset hloubky řezu a bod odtržení látky. Po ukončení této procedury je uvedení do výchozí pozice ukončeno stejně jako ve výše zmíněném případě.

4.1.2 Segment MISC

Miscellaneous je kategorie algoritmů které se nedají snadno zařadit kamkoliv jinam. Patří mezi ně naprosto jednoduché věci, jako je ovládání brzd textilie, jejich resetování při zavření dveří, logika zapamatování a přenastavení teploty při pozastavení stroje, ovládání světla uvnitř zakrytování stroje, ale také složitější algoritmy pro nabrání technologické palety a těla filtru, expedici mřížky do nabraného těla filtru a jeho subsekventní expedici, nebo jeho expedici bez mřížky.

4.1.3 Segment Cloth

Cloth je kategorie, která je věnována pouze a čistě kontrole toku textilie. Ten začíná na dvou rolích, které jsou separovaně brzděné elektromagnetickými brzdami, z nichž je textilie natažena skrze tanečnický, každá role mající vlastní tanečnický. Podle jeho pozice je kontrolováno odbrzdění, a tudíž popuštění textilie. Zatím je řešeno jako komparátor, ukáže-li se ale že je to nedostačující, bude použito dvoustavové PID řízení. Tím je řízeno napětí textilie na podávací straně, na odběrné straně je řešeno motorem, který je řízen oboustranným JOGováním, a snaží se tím udržet textílii ve středové oblasti tanečnicku s nastavitelnou tolerancí.

4.1.4 Segment Status

Status využívá tzv. pollování příkazů, kde jsou sekvenčně volány komunikační příkazy teprve po dokončení předchozího. Čas na vyčtení jednoho registru při 56kBd je pod 1ms, a díky pollování jsou volány v nejkratší možné sekvenci čili informace z motorů jsou vyčítány téměř instantně. Proto reset stavových bitů funkčních bloků komunikace je prováděn pouze 1x za 100ms, aby nebyla sériová linka blokována pouze čtením stavů. Stav motoru **enabled** je irelevantní, tím že je neustále spuštěn.

4.1.5 Segment Temperature

Řízení teplotního regulátoru a pomocné operace týkající se teploty jsou v rámci funkce Temperature. Tam je opět využíván výše zmíněný styl pollování příkazů, akorát s 200ms periodou. Krom toho je zde logika zapínání odsávacího ventilátoru nebo ovládané klapky k centrálnímu odtahu, která je aktivní nad určitou teplotu, nebo po ruční aktivaci, nebo jsou-li otevřeny dveře. V poslední řadě je zde komparátor s tolerancí, určující hlavnímu cyklu, dosáhl-li nástroj správné teploty.

4.1.6 Segment Signalisation

Externí signalizace pomocí majáku je na tomto stroji poměrně jednoduchá, běžná obsluha není schopná ocenit komplikované signalizace, a tak není důvod se s nimi zabývat. Zelený segment majáku svítí, je-li stroj po uvedení do výchozí pozice, a rychle bliká po dobu 3 sekund po úspěšném dokončení cyklu – založení mřížky. Červený segment bliká pomalu, je-li přítomna ne-kritická závada, jako je ztráta palety po cestě do stanice, zaseknutí pístu nebo třeba ztráta tlaku. Do rychlého blikání přejde, pokud byl aktivován nouzový stop, anebo po dobu 3 sekund pro signalizaci detekce technologické palety nenesouc tělo filtru. To je zjištěno tím, že píst zdvihu vyjede až na horní koncové čidlo. Modrý segment, signalizující požadavek na zásah obsluhy je iluminován, je-li aktivován nouzový stop, společně s blikající červenou, a pokud je zrovna prováděn cyklus uvádění do výchozí pozice. Pomalé blikání je indikací požadavku na doplnění zásobníku mřížek, roli tkaniny, nebo jako výzva k uvolnění resetu bezpečnosti anebo ke spuštění cyklu uvádění do výchozí pozice.

4.1.7 Segment Movements

Všechny pohyby řízené přes sériovou linku, které nejsou samostatně funkčními nezávisle na stavu výrobního cyklu, jsou řízené v této sekci. Všechny příkazy jsou prvně a primárně ošetřeny bezpečnostním vstupem, tj. neumožní vyslat pokyn k započetí pohybu není-li stroj v bezpečném stavu. Dále jsou podmíněny tím, byl-li stroj uveden do výchozí pozice. Prvně, ovládání turniketu, které je dodatečně podmíněno rozhodovačem, který čeká na nabrání mřížky a dokončení všech operací, a teprve poté dává příkaz k otočení, nebo, je-li kterákoli z pozic obsazená hotovou mřížkou v kterékoliv fázi a stroj není schopen nabrat novou mřížku, dává také příkaz k otočení. To slouží k dobrému využití času, kdy i v situaci, že dojdou mřížky v zásobníku, je stroj schopen stále dokončit a založit 3 hotové mřížky, a tím pokrýt až plánovaných 48 sekund, dokdy nedojde při včasném doplnění ke zpoždování toku materiálu v lince.

Dále je zde zaveden kontakt pro umožnění pozastavení cyklu, který nápodobně bezpečnosti brání volání komunikačních FB. Další úroveň blokování je přepínač typu cyklu, a to, je-li cyklus automatický nebo s ručním odbavením. Pokud je automatický, pak pracuje s co nejkratším časem cyklu, je-li ale ručně odbavován, čeká po každém dokončení rundy na zásah operátora, formou odbavení tlačítka na HMI. Byly-li všechny tyto blokanty splněny, pak je poslán příkaz k otočení turniketu, a je monitorován stav zpětné vazby z motoru turniketu. Jakmile je potvrzeno dosažení další prac. polohy, je resetován stavový bit manuálního odbavení, a dochází k posouvání stavů mřížek o jednu pozici, kde stav hotovo je posunut do stavu obsazeno. Následně jsou všechny stavy hotovo resetovány.

Dalším prvkem řízeným přes sériovou linku je motor řetězového dopravníku. Vykonávaný pohyb je typu konstantní rychlostí po dobu 15 sekund, přičemž pohyb je zastavován buď vyčasováním, nebo dojetím palety na snímač pracovní pozice, který je rozděven do GPIO motoru a do PLC. Tento pohyb je spínán pomocí paměťového bitu M214, a jeho vykonávání je zároveň blokováno podmínkou koncovým snímačem pístu zdvihu těla filtru, vstupem z bezpečnostního relé, manuálním zapauzováním stroje, absolvováním cyklu uvedení do výchozí pozice a nepřítomností chyby ztráty palety. Princip vykonávání je stejný jako u všech ostatních sériových komunikací, kde je na náběžnou hranu resetován stavový bit FB komunikace, tím je umožněno odeslání příkazu 1x, i přes stále přítomný příkaz. Porovnáním časovače a stavového registru motoru je vyhodnoceno, zda došlo ke ztrátě palety mezi stopkou a řetězovým dopravníkem. Došlo-li k vyčasování časovače, a motor je stále ještě v pohybu, je jasné že paleta není přítomna, nebo je zaseklá. Toto je opatření zavedené v návaznosti na zkušenosti z předchozích strojů s koncepcí do linky, u kterých bylo zaseknutí palety na nájezdových plošinách velmi časté. S průměrnou rychlostí pásového dopravníku $11 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, byl časový interval detekce 12 sekund usouzen jako naprosto dostatečný.

Posledním prvkem je posun textilie, který je volán podobně jako předchozí, s jedinou změnou v blokaci. Díky lineárnímu odměřování pozice horkého nástroje je pro bezpečnost tato pozice porovnávána s konstantou, a v kombinaci se stavovým bitem indikujícím správně provedené vyhození hotové mřížky tvoří podmínku operace bloku motoru.

4.1.8 Segment Emergency

V segmentu Emergency, jak název napovídá, je řešen stav nouzového zastavení. Ten je identifikován bezpečnostním relé, a předán PLC jako polovodičový signál. PLC tento signál zde zpracuje na bezprostřední odeslání globálního příkazu k okamžitému zastavení motorů na MODBUS sběrnici. Následně jsou vyresetovány výstupy, které jsou jinak řízeny SET – RST logikou a všechny sady stavových bitů. To sice vede k potenciální ztrátě produktu, díky neznámé obsazenosti a stavu výrobků v pozicích turniketu po obnově funkce, ale je to nejbezpečnější cesta. Ke svévolnému spuštění dojít nemůže, protože bezpečnostní systém je resetován pouze mechanickým tlačítkem obsluhy.

4.1.9 Segment Manual Jog

Stejně jako emergency, je také název tohoto bloku velmi vypovídající o jeho funkci. Pro seřizování a servis je užitečné mít možnost manuálně pohybovat s komponenty, jako jsou motory nebo pneumatické válce. Segment je tedy složen z řady komunikačních příkazů pro JOG všech

Následně, jsou-li všechny relevantní válce na původních pozicích indikovaných koncovými čidly, je nastavena pozice 2 jako kompletní.

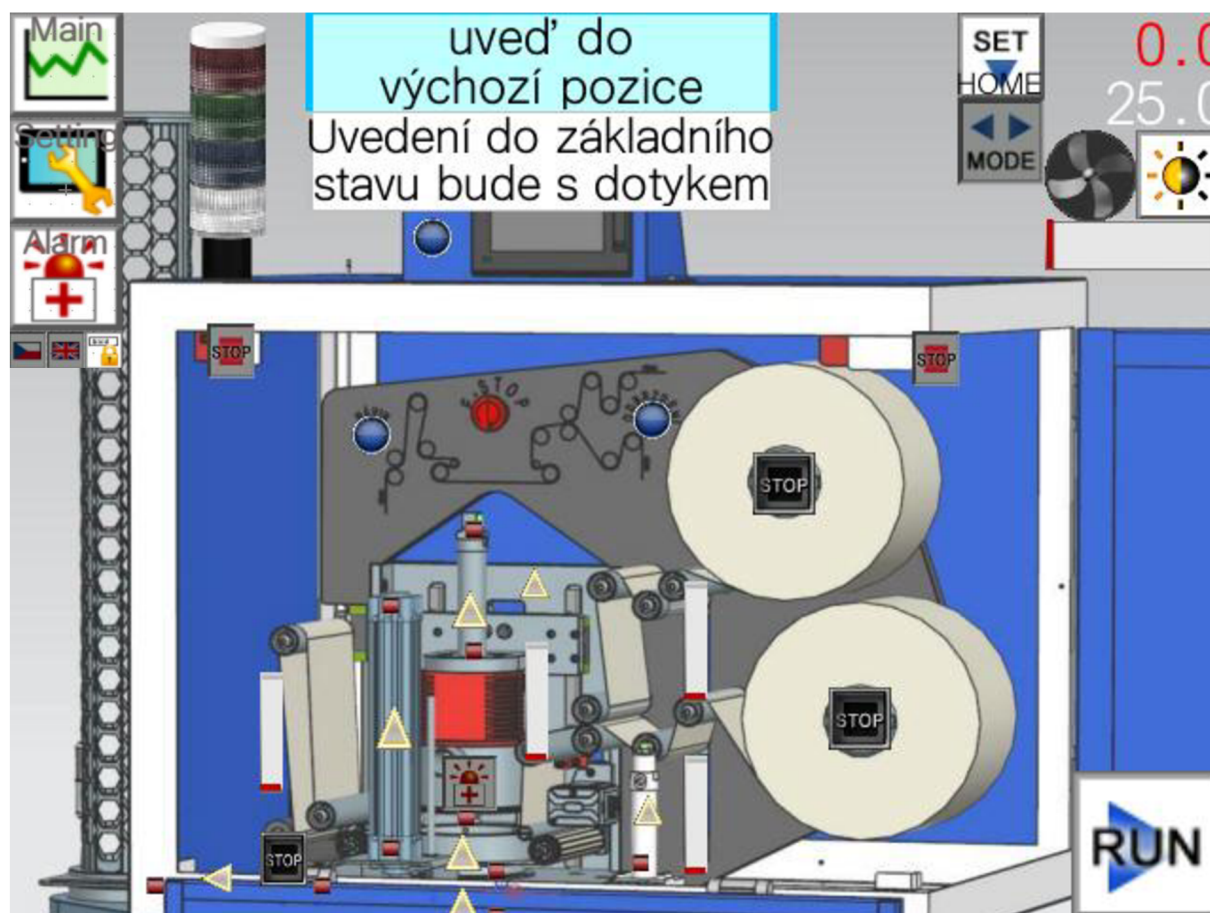
Pozice 3 je zdaleka nejjednodušší, slouží k otočení mřížky, a její kompletace je detekována průchozím čidlem. Kompletace je nastavena po jedné sekundě od průchodu.

Pozice 4 je koncem cesty mřížky, kde, je-li přítomná technologická paleta s tělem filtru, a je-li zvednuta do pracovní pozice, je mřížka zatlačena.

5 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí je postavené na základě vyskakovacího menu odladěného na předchozím stroji. HMI Mitsubishi nabízí několik typů stránek, Hlavní stránky (Base screen), vyskakovací okna (Window screen) a zprávové okno (Report screen).

Po zapnutí, je uživatel uvítán na základní okno, které obsahuje všechny potřebné prvky, k normálnímu provozu stroje. Zároveň je na základní obrazovce i informační okno, s volitelným jazykem, skrze vyskakovací menu.

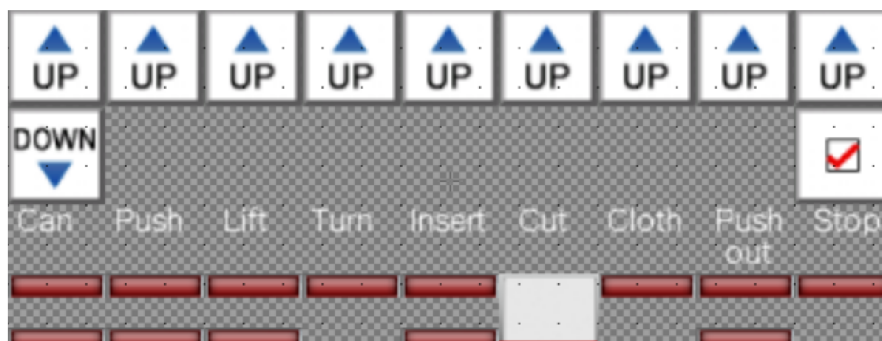


Obrázek 17 - Hlavní obrazovka UI s vyskakovacím menu

K účelům seřizování a servisu slouží obrazovka „Debug“, která obsahuje vše od proměnných, indikátorů stavů až po manuální ovládání os. Obrázky jsou pro lepší kvalitu přebrány ze simulátoru, proto jsou na nich indikovány hodnoty nulové. UI je kromě jazykové lokalizace vybavena také uživatelskými úrovněmi, volitelnými heslem. Každá úroveň má přidělené pravomoci, nejzákladnějšími z nich je běžný uživatel/výroba. Ten může pouze vidět proměnné, ale nemůže s nimi jinak interagovat. Tato pravomoc je udělena úrovni seřizovače, který krom toho může také vidět obsazenosti a kompletnosti jednotlivých pozic, indikátory stavů kontrolních proměnných a vypnout/zapnout některé kontrolní systémy (např. kontrolu přítomnosti těla filtru). Zároveň může seřizovač manuálně ovládat motory a pneumatické písty, a manuálně sepnout požadavek na nabrání palety, na výjezd palety a na založení mřížky a výjezd palety. Absolutně nejvyšší pravomoci má k dispozici programátor, který může krom schopností seřizovače i manuálně měnit stavy obsazenosti a kompletnosti a měnit interní nastavení HMI.



Obrázek 18 - Debug obrazovka ve zobrazení s plnou pravomocí



Obrázek 19 - Vyskakovací okno pro manuální ovládání pneumatických pístů

Chybové stavy jsou signalizovány nejen blikajícím majákem, a zprávou v informačním okně na základní obrazovce, ale také zapsáním do seznamu historických a aktivních chyb a alarmů. Dodatečně je zde i výčet systémových chyb, které nejsou běžně rozpoznatelné uživatelem, jako např. chyby komunikace, chyby ve vykonávání programu, korupce dat atd.

Process error			SYS ALARM
OCCURRED	COMMENT	STATUS	
24/05/07 19:23	Piston fault grid intake	0cr .	
24/05/07 19:23	Piston fault grid intake	0cr .	
24/05/07 19:23	Piston fault grid lift	0cr .	
24/05/07 19:23	Piston fault grid Insert	0cr .	
24/05/07 19:23	Piston fault pushout	0cr .	
24/05/07 19:23	Piston fault can lift	0cr .	
24/05/07 19:23	NOT-AUS pressed	0cr .	
24/05/07 19:23	Palette has no can	0cr .	
CPU/HMI error			
OCCURRED	COMMENT	STATU	
24/05/07 19:23	G01-322 Dedicated device is out of range. Con	0cr .	
24/05/07 19:23		0cr .	
24/05/07 19:23		0cr .	
24/05/07 19:23		0cr .	
24/05/07 19:23		0cr .	
24/05/07 19:23		0cr .	
24/05/07 19:23		0cr .	

Obrázek 20 - obrazovka alarmů s výpisem většiny dostupných chyb

Závěr

Kvůli zdržením vlivem práce při studiu, či naopak, vyššímu množství pracovních úkolů v zaměstnání, rozsáhlosti v této bakalářské práci uváděného projektu a jeho unikátnosti se jeho vývoj do jisté míry protáhl, nicméně výsledky mluví za sebe, a tento stroj v naší výrobě definitivně nezůstane unikátem. Naopak bude replikován, což bude výrazně rychlejší činnost než dlouhosáhlý vývoj stroje per-partes, a bude zařazen do výrobní linky pro kompletaci technologické výbavy.

Tímto bych chtěl opakovaně poděkovat jak svému vedoucímu bakalářské práce, tak i svým vedoucím a kolegům v zaměstnání, za dlouhodobou podporu mých rozvojových ideí a důvěru ve mně vloženou.

Použitá / Citovaná literatura

- [1] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, L(NA)08428ENG-B 1711(MEE), NOV 2017, „MELSEC iQ-F Series iQ Platform-compatible PLC“, TOKYO BLDG., 2-7-3, MARU-NOUCHI, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8310, JAPAN, <https://www.accs.cz/produkty-mitsubishi-electric/ridici-systemy/kompaktni/fx5u>, [cit. 2024-05-05]
- [2] Pilz GmbH & Co. KG, Safe Automation, **Application Note – 1005677_EN_02**, May 2021, „Signal forwarding to another myPNOZ“, Grenzstraße 60/62, 03238 Finsterwalde, Germany, https://www.pilz.com/download/open/myPNOZ_Signalforwarding_1005677-EN-02.pdf, [cit. 2024-05-05]
- [3] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, **fy997d56101h**, (nedatováno), „MELSEC iQ-F FX5 User's Manual (MODBUS Communication)“, TOKYO BLDG., 2-7-3, MARU-NOUCHI, CHIYODA-KU, TOKYO 100-8310, JAPAN, <https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plcf/fy997d56101/fy997d56101h.pdf>, [cit. 2024-05-05]
- [4] Leadshine Technology Co., Ltd., 2022, „iCS-RS Series Modbus RS485 Integrated Closed Loop Stepper Motor User Manual“, Shenzhen, Guangdong, 518055, China, https://atbautomation.eu/uploads/iCS-RS_Series_User_Manual.pdf, [cit. 2024-05-05]
- [5] ČSN EN 61508-5 ED.2 (180301), 01/2011, „Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností - Část 5: Příklady metod určování úrovně integrity bezpečnosti“, Ing. Jiří Šplíchal, [cit. 2024-05-05]
- [6] Jan Kamenický, „FBS08-SIL“, Oddělení spolehlivosti a rizik; <http://osr.mti.tul.cz>, [cit. 2024-05-05]

Přílohy

A FMEA v návrhové fázi

V elektronické podobě

B Předběžná verze návodu stroje, s převážným zaměřením na servisní úkony

V elektronické podobě

C Elektrotechnická dokumentace stroje

V elektronické podobě

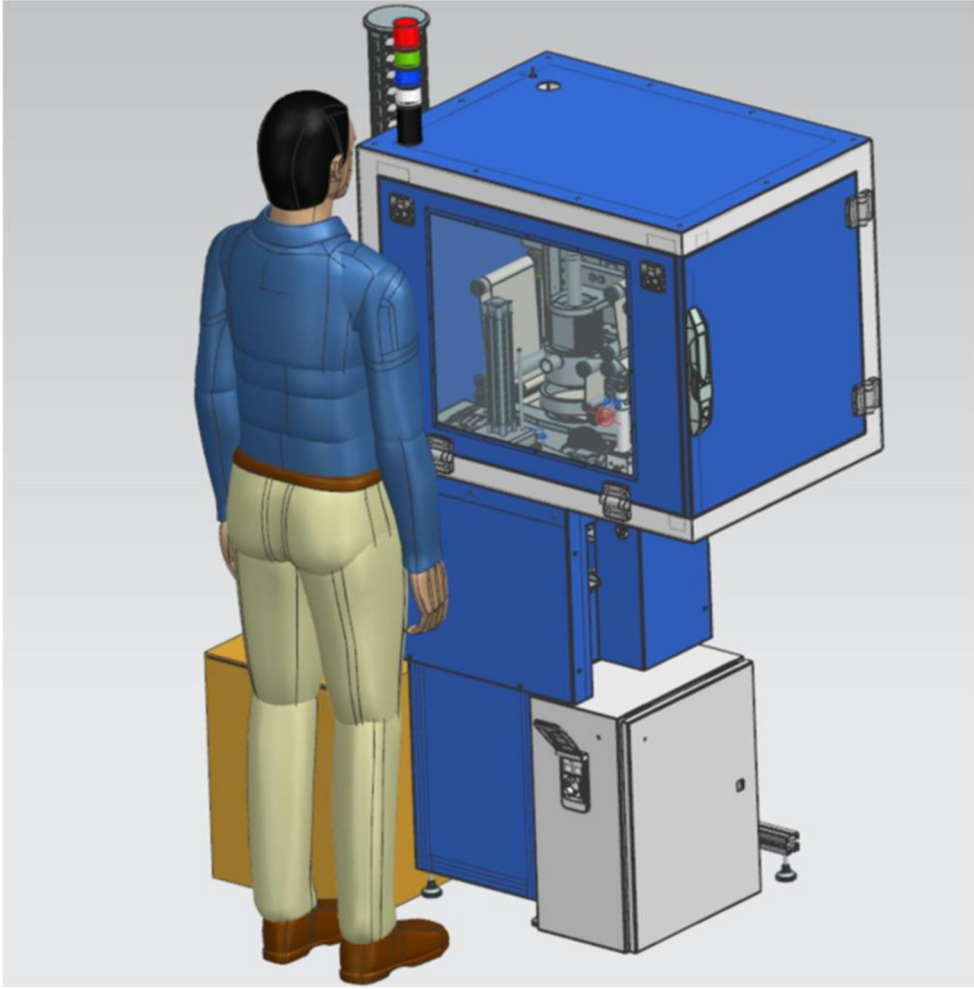
D Kopie poslední verze programu PLC k datu vydání BP

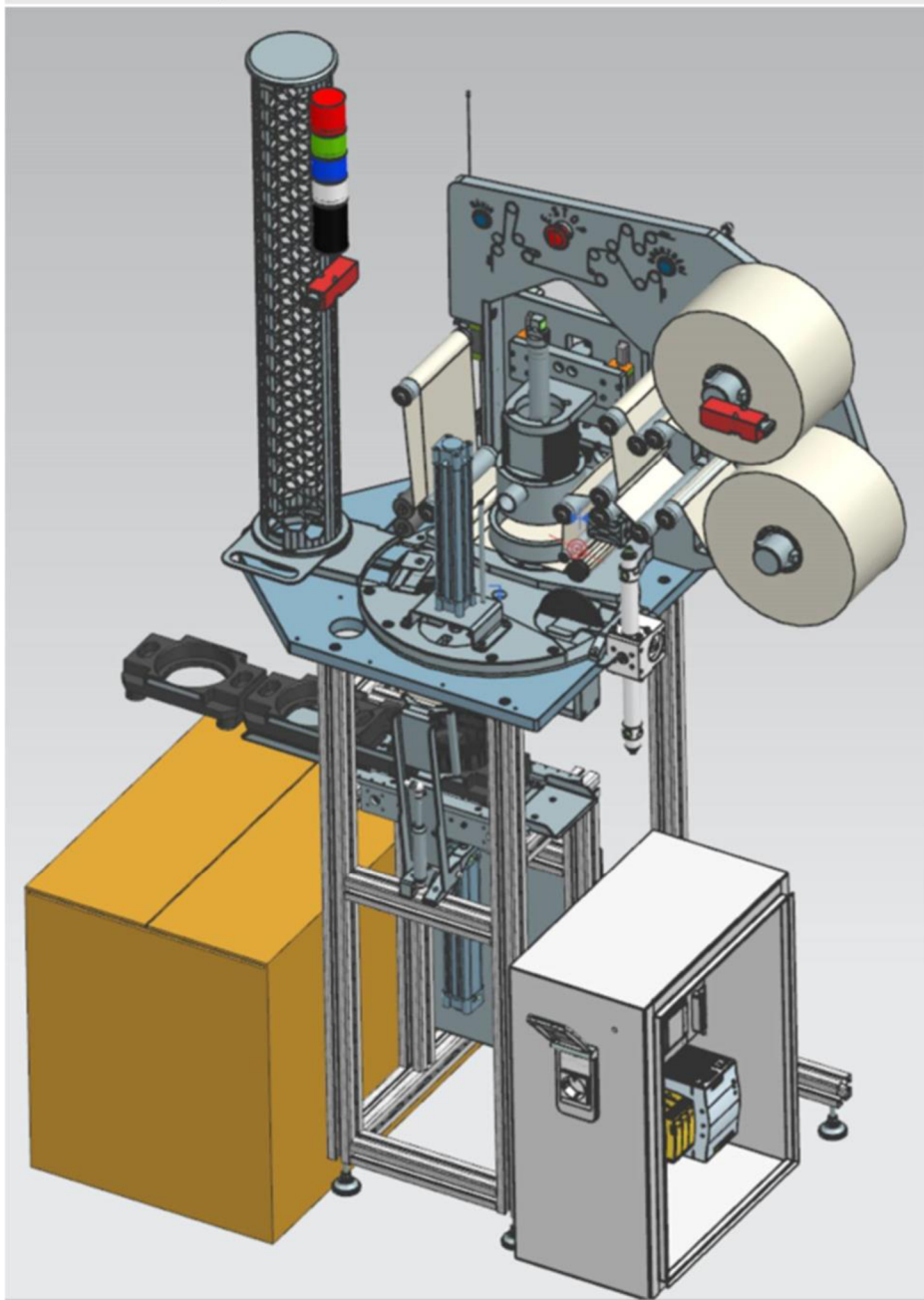
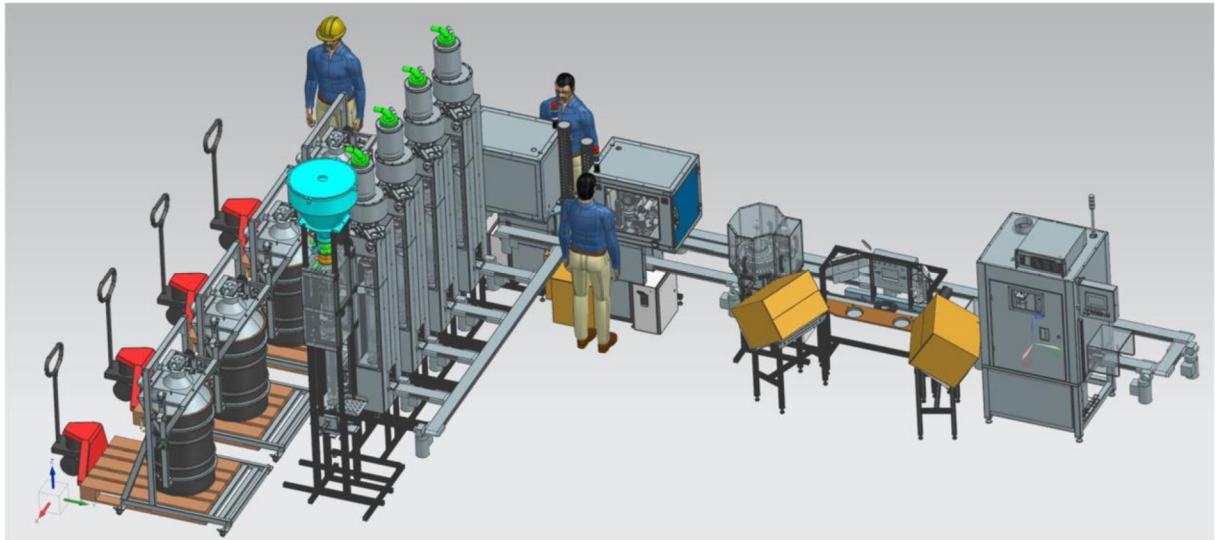
V elektronické podobě

E Průvodní dokumentace stroje

Stroj pro přípravu mřížek do chemických filtrů

Cíle projektu:	Zjednodušení práce a zlepšení výrobní kapacity nahrazením lidské práce jednoúčelovým strojem pro přípravu mřížek do chemických filtrů. Stanice je koncipována jako modulární prvek automatizované výrobní linky s minimálním lidským zásahem.
Prvky novosti:	Inovace spočívá ve spojování mřížky s oddělovací textilií, a tím i umožnění strojní manipulace. To přináší výrazné urychlení oproti momentálnímu stavu, kde obsluha separovaně vkládala plastovou mřížku, kolečka vystřížené tkaniny a upevňovací kroužek. všechny tyto operace jsou nahrazeny tepelným spojením tkaniny a mřížky.





Popis Funkce:

Úkolem stroje je svařování mřížek (ABS) a tkaniny (PES) k vytvoření jednotitého polotovaru se kterým je možné strojně manipulovat. Mechanické spojení je zařizeno sadou hrotů na horkém nástroji (255C), který zároveň tkaninu ořezává na stejný průměr jako je vnější průměr mřížky. Mřížky jsou drženy ve vertikálním zásobníku, dostačujícím na ~45 minut nepřetržitého provozu. Tkanina je udržována na 1 – 2 rolích, dle „receptu“, vystačujících na ~90 minut. Jeden takt se skládá z až 4 simultánních operací:

1. Vložení nové mřížky ze zásobníku
2. Zpracování mřížky:
 - a. Zdvihnu do svářecí polohy
 - b. Přitlačení horkého nástroje
 - c. Održení tkaniny
 - d. Odtlačení vyhazovače při výjezdu horkého nástroje
 - e. Sjezd mřížky a zdvih tkaniny
 - f. Posun tkaniny o ~140mm
3. Možnost otočení mřížky
4. Zpracování filtru
 - a. Nabraní technologické palety
 - b. Zdvih těla filtru do pracovní pozice
 - c. Zatlačení hotové mřížky
 - d. Sjezd těla filtru
 - e. Výjezd technologické palety a odbrzdění další

Soupis funkcí:

- Tepelná čepel ohřívána 4x 100w topnými tělesy, snímání teploty PT100.
- Pneumatický vyhazovač skrze horkou čepel pro oddělení případné přilepené mřížky.
- Napínání, vedení a posouvání textilie, zprostředkované servomotory a tanečníky s lineárním odměřováním.
- Bezpečné kryty stroje zamezující nechtěnému vniknu do rizikových prostor stroje a bezpečné zastavení nebezpečných funkcí při otevření krytů.
- Vybavení pro komfortní ovládání a indikaci stavu stroje.
- Automatické dávkování mřížek zprostředkované pneumatickým podavačem z vertikálního zásobníku, a následnou manipulaci pomocí turniketu.
- Kompletní zázemí pro manipulaci s kanystrem filtru a jeho nosnou technologickou paletou.

Soupis pneumatických prvků:

1. Píst zdvihu kanystru filtru (2 indukční senzory SAP-KT50) [ven l 5/3 NO]
2. Píst dávkovače mřížek (2 indukční senzory SAP-KT50) [ven l 5/2]
3. Píst Zdvihu mřížky na svaření (2 indukční senzory SAP-KT50) [ven l 5/2]
4. Píst Vložení hotové mřížky (2 indukční senzory SAP-KT50) [ven l 5/2]
5. Rotační píst otočení mřížky (2 indukční senzory SAP-KT50) [ven l 5/2]
6. Píst horkého nože (2 indukční senzory SAP-KT50)[ven l 5/2]
7. Píst vyhazovače mřížky (2 indukční senzory SAP-KT50)[ven l 5/2]
8. Píst odtržení textilie (2 indukční senzory SAP-KT50)[ven l 5/2]
9. Píst zastavení technologické palety (2 indukční senzory SAP-KT50)[ven l 5/2]

Soupis IO PLC

Výstupy:

0. Sheater – výstup na stykač topení
1. Sfan – výstup na stykač ventilátoru odtahu
2. Slight – výstup na stykač osvětlení boxu
3. Sbrake1 – výstup na stykač odbrždění textilní role 1
4. Sbrake2 – výstup na stykač odbrždění textilní role 2
5. brakeIndi – výstup na signalizaci tlačítka odbrždění
6. reelIndi - výstup na signalizaci tlačítka dopnu textilie
7. rstPbIndi - výstup na signalizaci tlačítka resetu bezpečnosti
10. CanUp – výstup pro pneumatický ven l zdvihu kanystru filtru
11. CanDn – výstup pro pneumatický ven l snížení kanystru filtru
12. GridPush – výstup pro pneumatický ven l vložení nové mřížky
13. GridLift – výstup pro pneumatický ven l zdvihu mřížky do svářecí pozice
14. GridInsert – výstup pro pneumatický ven l vložení hotové mřížky do kanystru filtru
15. CutDn – výstup pro pneumatický ven l zajetí do svářecí úvrati nástroje
16. ClothDn – výstup pro pneumatický ven l odtržení tkaniny odjetím přes lem
17. GridTurn – výstup pro pneumatický ven l otočení hotové mřížky
20. PushoutDn - výstup pro pneumatický ven l vyhazovače pro případ přichycení mřížky na žhavém nástroji
21. StopIn – výstup pro pneumatický ven l zastavovače technologické palety
24. BS-R - výstup pro maják - červená (chyba)
25. BS-GN - výstup pro maják – zelená (cyklus)
26. BS-BU - výstup pro maják – modrá (požadavek na obsluhu)
27. BS-WH - výstup pro maják – bílá (napě , připraveno na provoz)

Vstupy:

0. ICIP – Input Can In Position - Vstup indukční čidlo Paleta v pracovní pozici
1. IcanWait – Vstup indukční čidlo čekající technologická paleta
2. IcanUp – Vstup Hallovo čidlo kanystr průjezd horní polohou
3. IcanDn – Vstup Hallovo čidlo zdvih kanystru v poloze výjezdu palety
4. IclothUp – Vstup Hallovo čidlo tkanina v horní úvrati
5. IclothPresent – Vstup optická brána přítomnosti tkaniny
6. IstopOut – Vstup Hallovo čidlo vysunutá stopka technologické palety
7. IgridInsIn – Vstup Hallovo čidlo vložena mřížka
10. IgridInsOut – Vstup Hallovo čidlo vkládač mřížky vysunut
11. IgridUp – Vstup Hallovo čidlo mřížka vysunuta do svářecí pozice
12. IgridDn – Vstup Hallovo čidlo mřížka ready na posunu turniketem
13. IgridTurn – Vstup průjezdové Hallovo čidlo otočení mřížky
14. IgridPresent – Vstup Hallovo čidlo přítomnost mřížky na vkládací pozici
16. brakeRel – tlačítko pro uvolnění brzd rolí
17. reel – tlačítko pro zapnu pomalého manuálního navíjení

[vstupy z bezpečnostních relé]

35. Gateblocked – optická brána zablokována
36. DOORajar – dveře otevřeny
37. NApresed – stisknuté tlačítko NOT-AUS

Analogové Vstupy:

0. Analogový odměřovač vzdálenosti tanečnick role 1
1. Analogový odměřovač vzdálenosti tanečnick role 2
2. Analogový odměřovač vzdálenosti tanečnick odtahu
3. Analogový odměřovač vzdálenosti horkého nástroje
4. Analogový senzor PT100 horkého nástroje 1
5. Analogový senzor PT100 horkého nástroje 2

