



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



Návrh a tvorba řídicího systému laboratorního odstředivého zvlákňovacího stroje.

Bakalářská práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

B0714A270001 Mechatronika

Jakub Kubát

Ing. Martin Diblík, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





Zadání bakalářské práce

Návrh a tvorba řídicího systému laboratorního odstředivého zvlákňovacího stroje.

Jméno a příjmení: **Jakub Kubát**
Osobní číslo: M19000203
Studijní program: B0714A270001 Mechatronika
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s aktuálním stavem elektroinstalace laboratorního zvlákňovacího odstředivého stroje – spinarety.
2. Dle požadavků zadavatele upravte elektrickou instalaci a doplňte ji řídicím systémem na bázi programovatelného logického automatu.
3. Navrhněte a vytvořte program pro tento PLC automat s ohledem na předpokládaný způsob užití spinarety.

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

dle potřeby dokumentace
30–40 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí práce:

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

Datum zadání práce:

12. října 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

16. května 2022

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 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.

4. května 2022

Jakub Kubát

Návrh a tvorba řídicího systému laboratorního odstředivého zvlákňovacího stroje

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a tvorbou řízení pro odstředivý zvlákňovací stroj. Stroj je řízen pomocí PLC s dotykovým displayem. Dále lze v práci nalézt popis použitých komponent pro tvorbu elektroinstalace zařízení, dokončení elektroinstalace, popis použitého algoritmu založeného na stavových automatech a tvorbu vizualizace.

Klíčová slova: PLC programování, řízení motorů, frekvenční měnič, elektroinstalace, B&R Automation Studio, PLC moduly

Design and creation of a control system for a laboratory centrifugal spinning machine

Abstract

This thesis discusses design and creation of a control for a centrifugal spinning machine. Machine is controlled by a PLC with a touch screen. Furthermore, in the work there can be found a description of the components used to create elec-equipment installation, electrical installation completion, description of the used algorithm which was based on state machines and creation of visualization.

Keywords: PLC programming, engine management, frequency converter, wiring, B&R Automation Studio, PLC modules

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Martinu Diblíkovi Ph.D. za vytvoření tématu bakalářské práce a také za věcné připomínky a rady, vycházející z konzultací problémů týkajících se tvorby elektrozapojení a jednotlivých částí řídicího algoritmu.

Obsah

Seznam zkratek	9
1 Popis zařízení	11
2 Popis použitého hardwaru	13
2.1 Pohon peristaltické pumpy	13
2.2 Spinareta	13
2.3 Ventilátory	13
2.3.1 Hlavní ventilátor	14
2.3.2 Boční ventilátory	14
2.4 Řídicí systém stroje	14
2.5 PLC moduly	16
2.5.1 X20BR9300	16
2.5.2 X20DM9324	16
2.5.3 X20AO4632	17
2.5.4 X20SM1436	17
2.5.5 X20DO2633	17
2.6 Zdroj 24V DC	17
2.7 Frekvenční měnič Siemens SINAMICS V20	18
3 Popis funkce zařízení	19
3.1 Režimy zařízení	19
3.1.1 Automatický režim	19
3.1.2 Manuální režim	20
4 Tvorba elektroinstalace	21
4.1 Stav elektroinstalace před započítím práce	21
4.2 Postup prací tvorby elektroinstalace	21
4.2.1 Připojení krokového motoru	22
4.2.2 Připojení asynchronního motoru	22
4.2.3 Připojení ventilátorů	22
4.2.4 Připojení PLC s dotykovým panelem	22
4.2.5 Chlazení	22
4.3 Po vložení do rozvaděče	23
4.4 Vytvoření elektrotechnické dokumentace	24

5	Mapování	26
5.1	Moduly	27
5.1.1	X20BR9300	27
5.1.2	X20DM9324	27
5.1.3	X20AO4632	27
5.1.4	X20SM1436	27
5.1.5	X20DO2633	28
5.2	Krokový motor	28
5.3	Asynchronní motor	28
6	Algoritmus pro řízení	29
6.1	Programovací prostředí	29
6.1.1	Automation Studio	29
6.1.2	VNC Viewer	30
6.2	Sady proměnných	30
6.2.1	Globální proměnné	30
6.2.2	Lokální proměnné	30
6.2.3	Receptury proměnných pro jednotlivé režimy	31
6.3	Struktura programu	31
6.3.1	Programová jednotka main	32
6.3.2	Programová jednotka stepper	34
6.3.3	Programová jednotka ventilatory	35
6.3.4	Programová jednotka spinareta	36
6.4	Detekce chyb a jejich zobrazení uživateli	37
7	Vizualizace	38
7.1	Hlavní obrazovka	38
7.2	Obrazovka pro ovládání krokového motoru	39
7.3	Obrazovka pro diagnostiku	40
8	Shrnutí práce	42
9	Závěr	43
	Použitá literatura	45
A	Přílohy	47

Seznam zkratek

TUL	Technická univerzita v Liberci
FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci
PLC	Programmable Logic Controller
HMI	Human Machine Interface
DI	Digital Input
DO	Digital Output
ST	Structured text
true	logická jednička
false	logická nula
B&R	Bernecker & Rainer
VNC	Virtual Network Computing
USB	Universal Serial Bus

Úvod

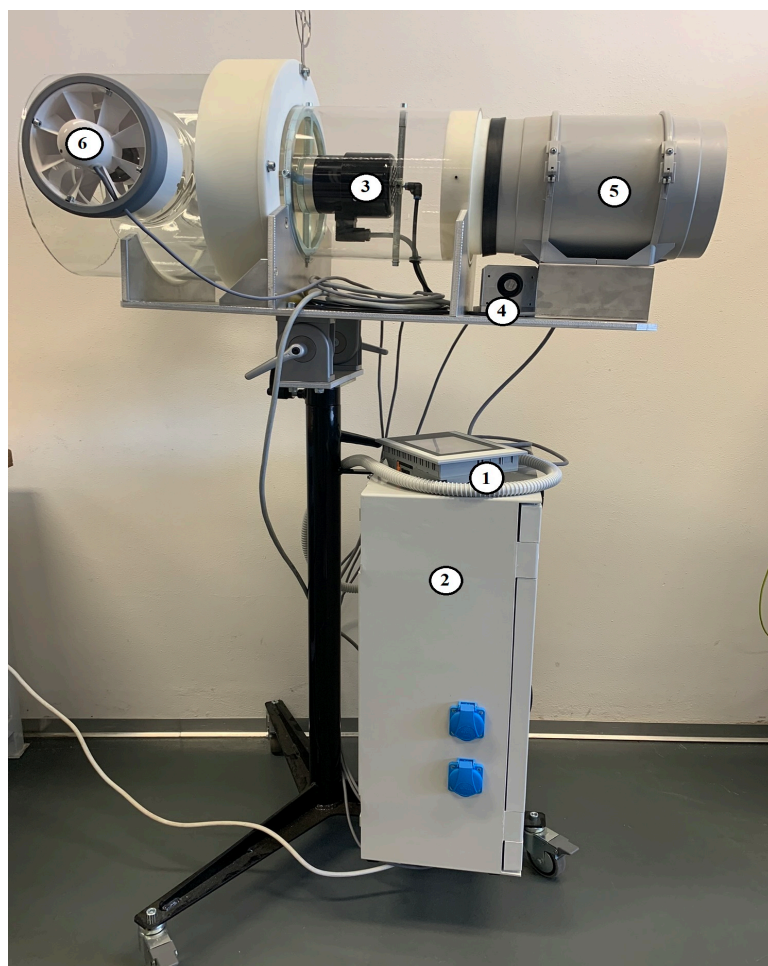
Ve své bakalářské práci jsem se zabýval návrhem a tvorbou řídicího systému laboratorního odstředivého zvlákňovacího stroje. Tento stroj je určen k výrobě nanovlákn s využitím odstředivé síly.

Nejprve jsem se seznámil s aktuálním stavem elektroinstalace zařízení, které již v minulosti bylo schopné provozu za pomoci tlačítek, potenciometru a řízení dostupného na hlavním ventilátoru. Zabýval jsem se kompletací elektroinstalace, která spočívala v doplnění rozvaděče o PLC moduly, instalační svorky, vodičové propojení a připojení jednotlivých akčních členů na napájení a moduly. V rámci své práce jsem také dokončil výkres elektroinstalace zařízení v programu Eplan Education. Posledním bodem mé práce byla tvorba jednoduché funkcionality pro předpokládané použití spinarety dle požadavků vedoucího. Zařízení je řízeno PLC automatem v kombinaci s dotykovým displejem, pomocí kterého jsem realizoval nastavování parametrů a také ovládání celého zařízení.

V rámci své práce jsem čerpal z uvedených zdrojů, vlastních znalostí získaných v rámci studia či osobní praxe v průmyslu a z konzultací s vedoucím práce.

1 Popis zařízení

Odstředivé zvlákňovací zařízení slouží k výrobě nanovlákná odstředivou silou. Výroba je zajištěna čtyřmi hlavními akčními členy. Hlavním prvkem stroje je vysokootáčkové vřeteno s dutým hřídelem, které je zakončeno kuželovým rozšířením, vřeteno je umístěno v ose motoru - na obrázku 1.1 pozice 3.



Obrázek 1.1: Odstředivé zvlákňovací zařízení

Středem vřetena je pomocí pumpy dopravován polymerní roztok, který odstředivá síla unáší na okraj kuželu. Z vnější hrany kuželu je pak polymerní roztok vystřikován do okolního prostředí. Hlavní axiální ventilátor vytváří proud vzduchu, který

vzniklá vlákna dále vysuší a usměrní do výstupního proudu - na obrázku 1.1 pozice 5. Boční radiální ventilátory slouží k vytvoření bočního tlaku a tím k dosažení lepšího usměrnění - na obrázku 1.1 pozice 6. Pohon pumpy je realizován krokovým motorem - na obrázku 1.1 pozice 4. Celé zařízení je řízeno programovatelným logickým automatem - na obrázku 1.1 pozice 1, doplněným o elektrické zařízení stroje uvnitř rozvaděče - na obrázku 1.1 pozice 2.

Celý stroj je umístěn na pohyblivém rámu. Zvlákňovací tryska je umístěna na otočném rameni. Tato koncepce dovoluje měnit náklon v horizontální i vertikální rovině.

2 Popis použitého hardwaru

2.1 Pohon peristaltické pumpy

Pohon je tvořen dvoufázovým krokovým motorem 80MPF3.250S000-01 od výrobce B&R Automation. Jedná se o motor s rozsahem 200 kroků na jednu otáčku, kde jedna jednotka odpovídá natočení motoru o $1,8^\circ$. Motor je zapojen do série a doplněn krytem se svorkami 80XMPDXRE.W1-10 sloužícím pro připojení k řídicí kartě. [1]



Obrázek 2.1: Krokový motor B&R s krytem se svorkami. [2]

2.2 Spinareta

Pro pohon spinarety (vřetena) je využito asynchronního motoru FT4C52R výrobcem je firma ATAS elektromotory Náchod. Jedná se o třífázové vysokootáčkové vřeteno s kmitočtem 400 Hz, výkonem 500 W krytím IP44 a maximálními otáčkami 23 700 ot/min. Motor je řízen pomocí frekvenčního měniče Siemens SINAMICS V20. [3]

2.3 Ventilátory

Odstředivé zvlákňovací zařízení má jeden hlavní ventilátor pro vytvoření tlaku směrem v ose vřetena a dva menší boční ventilátory.

2.3.1 Hlavní ventilátor

Tlak vzduchu pro směřování polymeru je tvořen pomocí ventilátoru Dalap AP PRO-FI 200 T. Jedná se o klasický ventilátor určený do potrubí. Z ventilátoru byl odebrán elektronický modul pro řízení otáček, který byl nahrazen ovládáním přímo z triakového výstupu karty X20DO2633. Ventilátor je schopný dodávat objem vzduchu $1040 \text{ m}^3/\text{h}$. [4]



Obrázek 2.2: Ventilátor Dalap AP Profi. [5]

2.3.2 Boční ventilátory

Jedná se o běžné technologické ventilátory do potrubí, které lze použít pro širokou škálu aplikací. Ventilátory jsou od výrobce VENTS, typu VKO 1 L Turbo o průměru 150 mm a každý s průtokem vzduchu $365 \text{ m}^3/\text{h}$. Stejně jako hlavní ventilátor jsou boční ventilátory řízeny pomocí výstupu z triakové karty X20DO2633. [6]

2.4 Řídicí systém stroje

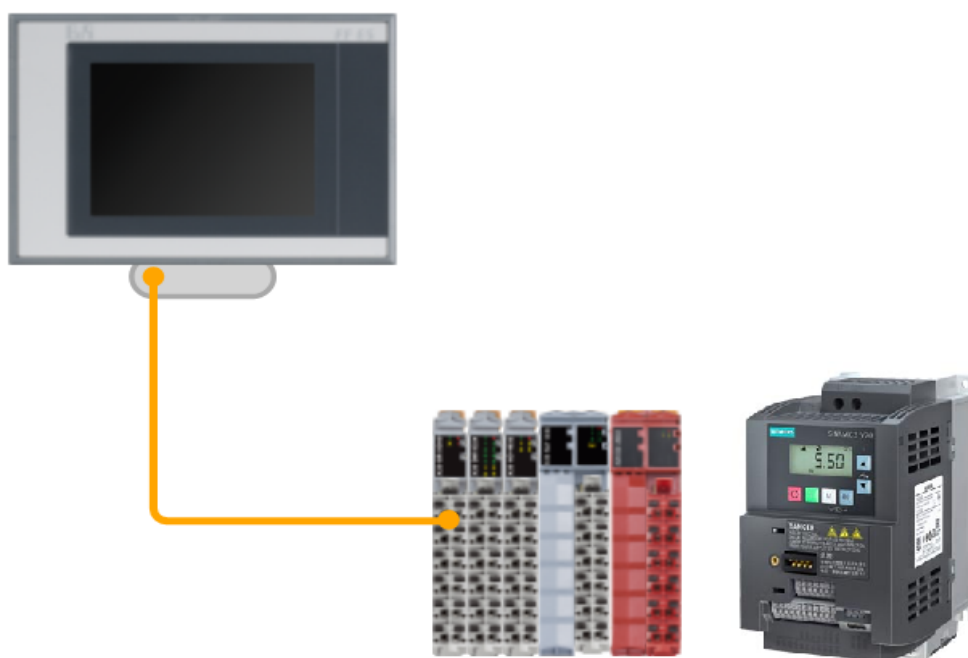
Celé zařízení je řízeno Programovatelným Logickým Automatem (PLC) v kombinaci s dotykovým panelem o velikosti 5,7". Jedná se o typ Power Panel PP 65 od výrobce B&R Automation s rozlišením 320×240 pixelů. PLC je umístěno volně mimo rozvaděč. Pro lepší ovládání je možnost s PLC volně pohybovat v rozsahu délky napájecích a komunikačních kabelů.

Tento typ PLC umožňuje komunikaci pomocí sběrnice X2X link, Ethernetu a USB. PLC je vybaveno Ethernet konektorem pro přímé propojení s PC a dvěma USB porty, které mohou sloužit například pro stažení dat na flash disk. V rámci tohoto zařízení slouží ethernetové připojení hlavně k možnosti připojení PC servisního technika. Toto PLC nedisponuje žádnými vstupními či výstupními kanály. Všechny

vstupně výstupní kanály jsou k PLC zapojeny prostřednictvím přídatných PLC modulů. Spojení s těmito kanály je dostupné pomocí sběrnice X2X link. Bližší informace lze nalézt v datasheetu výrobce.[7]



Obrázek 2.3: Programovatelný logický automat, typ 4PP065.0571-X74 (PLC v kombinaci s dotykovým operátorským panelem) [8]



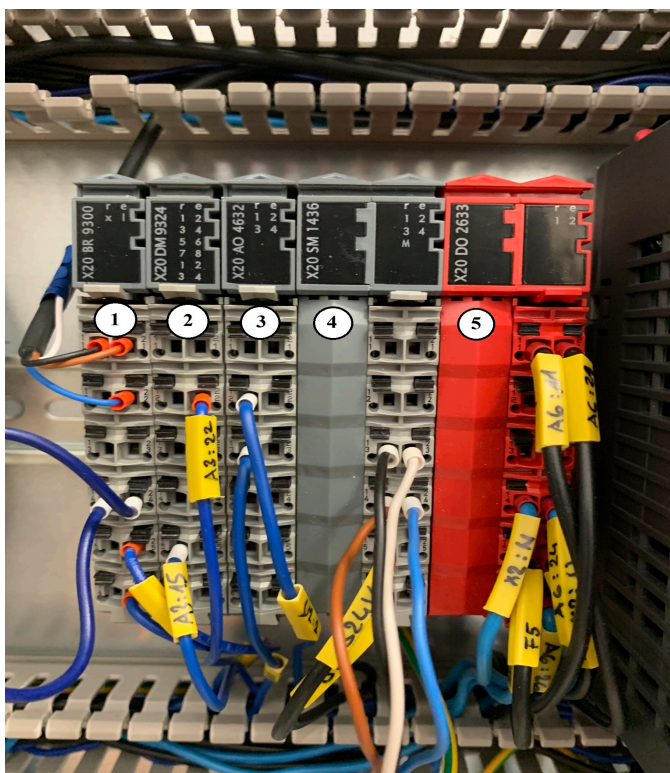
Obrázek 2.4: Hardwarová konfigurace + externí zařízení SINAMICS V20. [9]

2.5 PLC moduly

Řízení každého akčního členu je provedeno pomocí PLC karet výrobce B&R Automation, pro spinaretu je řízení provedeno pomocí PLC karty a měniče Siemens SINAMICS V20. Všechny PLC moduly jsou ještě opatřeny terminal blokem X20TB12, který umožňuje ke kartě připojit celkem 12 vstupů/výstupů či jejich kombinací.

2.5.1 X20BR9300

Bus module - obrázek 2.5 pozice 1, napájený 24V DC, slouží pro připojení modulů X20 pomocí standardu X2X link k samotnému PLC a také jako napájení i pro ostatní vstupní a výstupní karty. [10]



Obrázek 2.5: PLC moduly

2.5.2 X20DM9324

Digital mixed module - obrázek 2.5 pozice 2 obsahuje 8 digitálních sink vstupů a 4 digitální source výstupy s integrovanou ochranou. Na tomto modulu využívám DO1 pro odeslání signálu pro měnič, který na základě kladného signálu roztáčí spinaretu. Jako zpětnou vazbu od měniče využívám DI4, kde dostáváme informaci zda se v měniči nachází chyba či nikoliv.[11]

2.5.3 X20AO4632

Analog output module - na obrázku 2.5 pozice 3 má k dispozici čtyři analogové výstupy s 16-bitovým rozlišením převodníku. Uživatel má na výběr proudový signál v rozsahu 0 až 20 mA nebo napěťový signál $\pm 10V$. V rámci projektu využívám napěťový výstup AO1, kterým dávám informaci pro nastavení otáček v podobě analogového signálu. Otáčky jsou uživatelem zadávány v rozsahu 0 až 400 Hz, který je následně přepočten na napěťový rozsah karty.[12]

2.5.4 X20SM1436

Power supply modul - obrázek 2.5 pozice 4 slouží k řízení jednoho krokového motoru s napětím 24-39 V DC . Modul má integrovanou detekci motoru, detekci zablokování a čtyři digitální vstupy.[13]

2.5.5 X20DO2633

Digital output module - obrázek 2.5 pozice 5. Řízení ventilátorů je provedeno za využití dvou digitálních triakových výstupů, kterými tato karta disponuje. Uživatel nastavuje otevření jednotlivých triaků v %, dle kterých se ventilátory roztácejí. Jednotlivé ventilátory jsou napájeny přímo z modulu.[14]

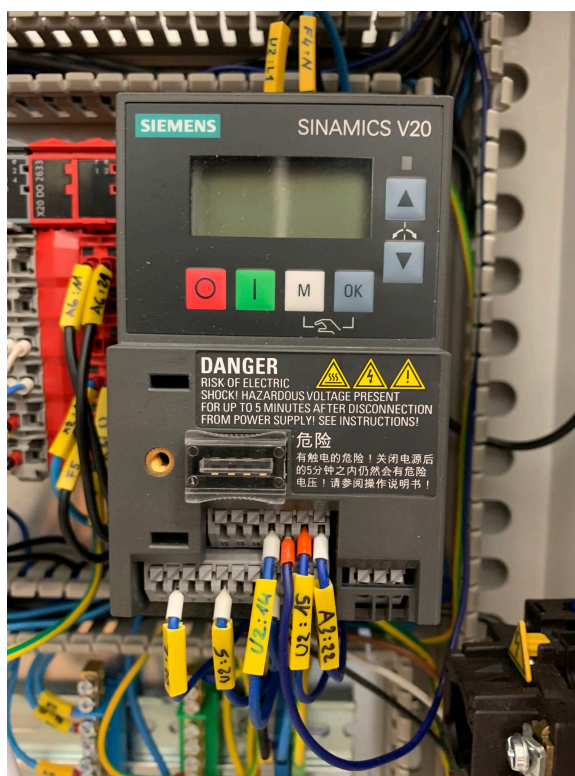
2.6 Zdroj 24V DC

Všechny karty a PLC jsou standardně napájeny 24 V DC. Pro vytvoření napětí 24V DC je zde zaveden zdroj Phoenix Contact TRIO-PS-2G/1AC/24DC/5. Tento zdroj je napojen na jistič F3 s charakteristikou B 6A. Napětí 24 V DC je dále vyvedeno na rozvodný blok, odkud jsou poté postupně napájena ostatní zařízení.[15]

2.7 Frekvenční měnič Siemens SINAMICS V20

Pro řízení asynchronního vysokootáčkového motoru byl určen frekvenční měnič Siemens SINAMICS V20 s katalogovým označením 6SL3210-5BB15-BV1. Je to 1.5 kW jednofázový měnič s napájecím napětím v rozsahu 200 až 240 V a maximálním výstupním napětím 230 V. Měnič obsahuje 4 digitální vstupy, jeden tranzistorový a jeden relé digitální výstup, dva analogové vstupy a jeden analogový výstup. Udaná účinnost měniče je 98 %.

Pro řízení spínarety využívám digitální vstup DI01, kterým dávám povel pro start motoru z karty X20DM9324. Dále používám analogový vstup AI01, kde dostává měnič hodnotu převedenou z Hz, na kterou by měl motor roztočit. Pro zpětnou vazbu využívám digitálního výstupu DO01.[16]



Obrázek 2.6: Frekvenční měnič Siemens SINAMICS V20

3 Popis funkce zařízení

Cílem mé práce bylo, aby zařízení fungovalo ve dvou uživatelských režimech, v automatickém a manuálním režimu.

3.1 Režimy zařízení

Zařízení disponuje dvěma uživatelskými režimy, které je možno volně přepínat. Předpokládá se, že zařízení bude obsluhovat pouze osoba k tomu pověřená a zkušená. Aktuální režim lze vidět z každé obrazovky zařízení v pravém horním rohu, přímo pod aktuálním časem. Přepínání režimů je možné pouze tehdy, pokud jsou nečinné všechny akční členy zařízení. Přepnutí režimu při běhu stroje je ošetřeno pomocí uzamčení tlačítek výběru režimu, k nechtěnému přepnutí za běhu stroje tak nemůže dojít.

3.1.1 Automatický režim

Automatický režim zařízení slouží pro běžný chod. Uživatel si vybere z receptu data, se kterými by chtěl stroj spustit. Data se překopírují do paměti a stroj čeká na stisknutí tlačítka **START** na hlavní obrazovce, kterým dojde se spuštění akčních členů dle zadané receptury.

Za běhu stroje je možné data volně měnit přímo z hlavní obrazovky. Uživatel má možnost si nová data uložit zpět do jedné ze sad receptur, na libovolný index. Po stisknutí tlačítka **ULOŽIT** nacházejícího se v levém dolním rohu hlavní obrazovky bude uživatel vyzván k vybrání indexu receptury, do které by chtěl data uložit.

V automatickém režimu je nastaveno zpoždění spuštění pumpy, které se nastavuje v milisekundách na záložce pumpa. Zpoždění je nastaveno jako retain proměnná, ale pokud nebude nastaveno při prvním spuštění, je automaticky nastaveno na zpoždění 5 sekund. Toto zpoždění jsem zavedl proto, abych zajistil, že se bude točit spinareta a alespoň hlavní ventilátor, než dojde k dávkování polymeru.

3.1.2 Manuální režim

Manuální režim slouží pro případné ladění stroje, či k čištění pumpy po použití. Pro manuální režim je potřeba zadávat všechny parametry na obrazovce, která slouží k ovládání daného akčního členu. Každý akční člen je spouštěn zvlášť na vlastní obrazovce dle parametrů zadaných uživatelem. Data se kopírují mezi strukturami, díky tomu lze i v manuálním režimu měnit data přímo z hlavní obrazovky.

Ventilátory

Pro ventilátory je potřeba zadat pouze hodnotu otevření v procentech a poté už pouze pomocí tlačítek **START** a **STOP** lze ventilátory ovládat. Pro náhled obrazovky ventilátorů lze využít návod k obsluze zařízení, dostupný v příloze.

Spinareta

Při manuálním ovládání spinarety musí uživatel zadat pouze otáčky v rozsahu 0 - 400 Hz a pomocí tlačítek **START** a **STOP** lze akční člen ovládat.

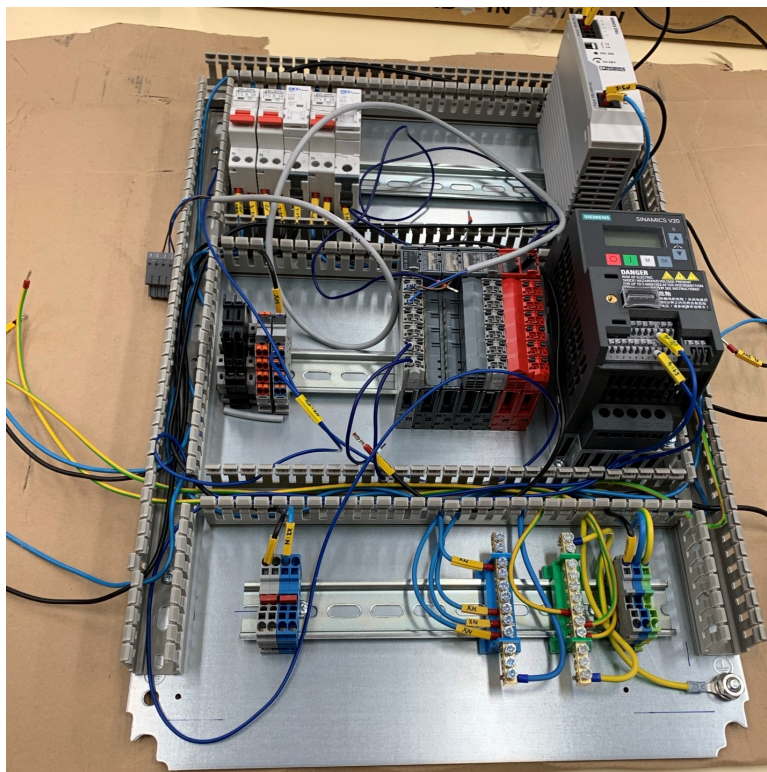
Pumpa

Pro spuštění pumpy je potřeba zadat otáčky [ot/min], dát motoru power a následně pomocí **START** a **STOP** tlačítek lze motor ovládat. Při zmáčknutí tlačítka **STOP** je motoru odebráno napájení (power), pro další spuštění je nutné zapnout napájení motoru znovu, stiskem tlačítka **POWER**. Zpoždění ani podmínka běhu ventilátoru či spinarety nejsou v manuálním režimu implementovány, je to kvůli možnosti pohybu pumpy jako jediného členu např. při čištění po používání zařízení.

4 Tvorba elektroinstalace

4.1 Stav elektroinstalace před započítím práce

Prvním krokem mé bakalářské práce bylo seznámit se s aktuálním stavem elektroinstalace. Bylo potřeba na DIN lišty umístit PLC moduly, instalační svorkovnice pro rozvod napětí 24 V, GND a pro připojení hlavního a bočních ventilátorů.



Obrázek 4.1: Stav elektroinstalace před započítím realizace úprav

4.2 Postup prací tvorby elektroinstalace

Po přidání karet na DIN lištu jsem začal postupně zapojovat vodiče dle dokumentace a datasheetů jednotlivých produktů. Všechny vodiče jsem označil pomocí žlutých navlékacích profilovaných návleček, aby bylo viditelné, co daný vodič propojuje.

4.2.1 Připojení krokového motoru

Pro připojení krokového motoru jsem využil dostupný kryt se svorkami. Dle typu zapojení přírodních vodičů lze motor využít v sériovém, či paralelním zapojení. Pro toto zařízení je využito sériového zapojení. Krokový motor je připojen na piny 13, 14, 23 a 24 karty X20SM1436. Do této karty je přivedeno napětí 24 V DC, z této karty je motor poté napájen. Motor je zapojen do série, dle dokumentace od výrobce.[13] Pro detailní přehled připojení krokového motoru, lze využít výkresu elektroinstalace dostupného v příloze.

4.2.2 Připojení asynchronního motoru

Asynchronní motor je ovládán z karty X20DM9324, která posílá z digitálního výstupu DO-01 povel do měniče Siemens SINAMICS V20. Dále měnič dostává analogový signál z karty X20AO4632 z výstupu AO-01 v rozsahu 0 až 10 V, který je dále dodáván do asynchronního motoru o kmitočtu 0 až 400 Hz.[16] Tento signál nastavuje rychlost otáčení vysokootáčkového vřetena. Z frekvenčního měniče je zavedena zpětná vazba do karty X20DM9324 na digitální vstup DI-04.

Tento třífázový asynchronní motor je připojen přímo na fázové svorky měniče U,V,W a GND. Pokud by chtěl uživatel docílit u motoru opačného otáčení, stačilo by zaměnit dva libovolné přírodní vodiče a motor by dosáhl opačného otáčení.

4.2.3 Připojení ventilátorů

Všechny ventilátory jsou napájeny z karty X20DO2633, ze které jsou následně i pomocí digitálního signálu řízeny. Signál je z karty vyveden na svorky a poté přírodními vodiči $2 \times 0,75$ mm skrze průchodky přímo na ventilátory.

Boční ventilátory jsou napájeny z digitálního výstupu DO01. Zde je využito svorky s vloženým můstkem, aby došlo k jednoduššímu rozvodu na dva boční ventilátory. Hlavní ventilátor je napájen z digitálního výstupu DO02.

4.2.4 Připojení PLC s dotykovým panelem

PLC je připojeno pomocí dvou třížilových kabelů, zvláště je vedené napájení a komunikace. PLC je napájeno standardními 24 V DC, které vytváří zdroj Phoenix Contact[15]. Komunikace je zajištěna pomocí sběrnice X2X link, která je řešena čtyřžilovým kabelem.[7] Kabel pro napájení je společně s kabelem pro X2X link komunikaci vyveden z rozvaděče skrz průchodku do pružné kabelové chráničky a dále přímo do PLC.

4.2.5 Chlazení

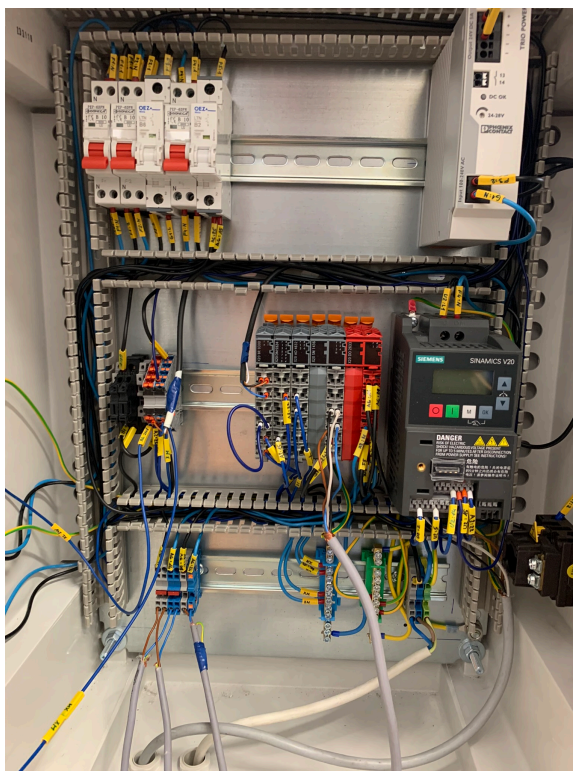
Pro správnou funkci zařízení jsem se zabýval teplotou uvnitř rozvaděče. Vypočetl jsem maximální ztrátový výkon všech zařízení. Protože rozvaděč je od výrobce Schneider Electric, pro výpočet teploty jsem využil softwaru ProClima od firmy

Schneider Electric. Tento volně dostupný software umožňuje vypočítat dle zadáných parametrů přibližnou teplotu v rozvaděči. Po zadání typu či rozměrů rozvaděče, okolní teploty, nadmořské výšky, vlhkosti a ztrátového výkonu se uživateli zobrazí přibližný odhad. Do výpočtu lze také započítat, zda rozvaděč již obsahuje nějaké chlazení v podobě ventilátoru či nikoli.

V datasheetech použitých komponent jsem si vyhledal maximální možné ztrátové výkony všech zařízení. Po sečtení ztrát, které generují: zdroj 24 V DC, jednotlivé PLC moduly a měnič, jsem vypočetl maximální možný ztrátový výkon rovný 51,62 W. Po výpočtu software přibližně odhadl vnitřní teplotu rozvaděče Schneider Electric na 46 °C. Pro tuto teplotu není nutné do rozvaděče zavádět přídatné chlazení v podobě ventilátoru. Pro komponenty umístěné v rozvaděči je tato teplota v rámci rozmezí pracovních teplot.

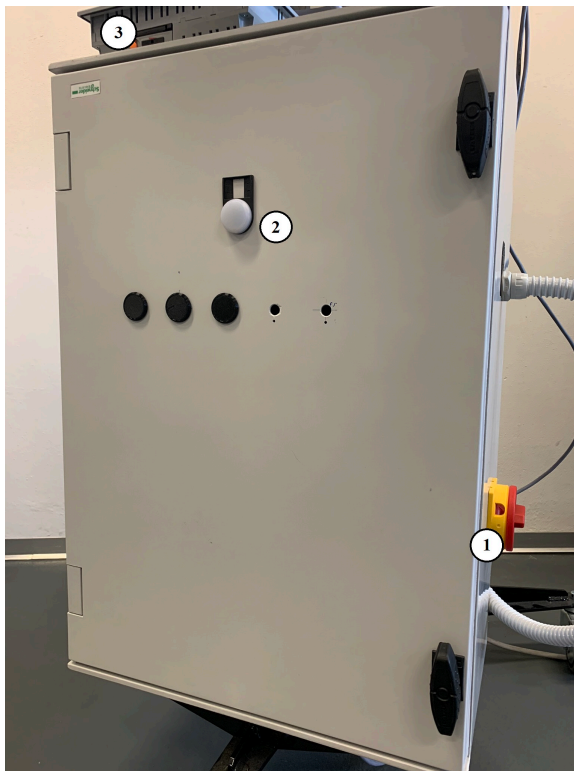
4.3 Po vložení do rozvaděče

Po zapojení všech karet a vnitřních propojení jsem vložil vnitřní část rozvaděče do boxu a připojil jsem všechny akční členy a PLC. Pro připojení akčních členů a PLC, které jsou umístěné mimo rozvaděč, jsem využil kabelových průchodek. Kabelové průchodky pro akční členy a přívod pro hlavní napájení celého zařízení jsou umístěny v dolní části rozvaděče. Průchodka pro PLC je umístěna v pravé stěně rozvaděče, nad hlavním vypínačem zařízení.



Obrázek 4.2: Dokončená elektroinstalace po vložení do rozvaděče

Umístění hlavního vypínače je na pravé straně rozvaděče - obrázek 4.3 pozice 1. Na dveřích rozvaděče je umístěna bílá signálka - obrázek 4.3 pozice 2, signalizující stav napájení zařízení po otočení hlavního vypínače do stavu zapnuto. Ve vrchní části lze vidět PLC umístěné mimo rozvaděč - obrázek 4.3 pozice 3.




Obrázek 4.3: Foto rozvaděče zvenku

4.4 Vytvoření elektrotechnické dokumentace

Byla vytvořena elektrotechnická dokumentace v programu E-Plan Education verze 2.9.

Eplan je běžně využívaný software pro tvorbu elektrotechnické dokumentace. V rámci studia jsem se s programem Eplan setkal, takže s ním umím pracovat.

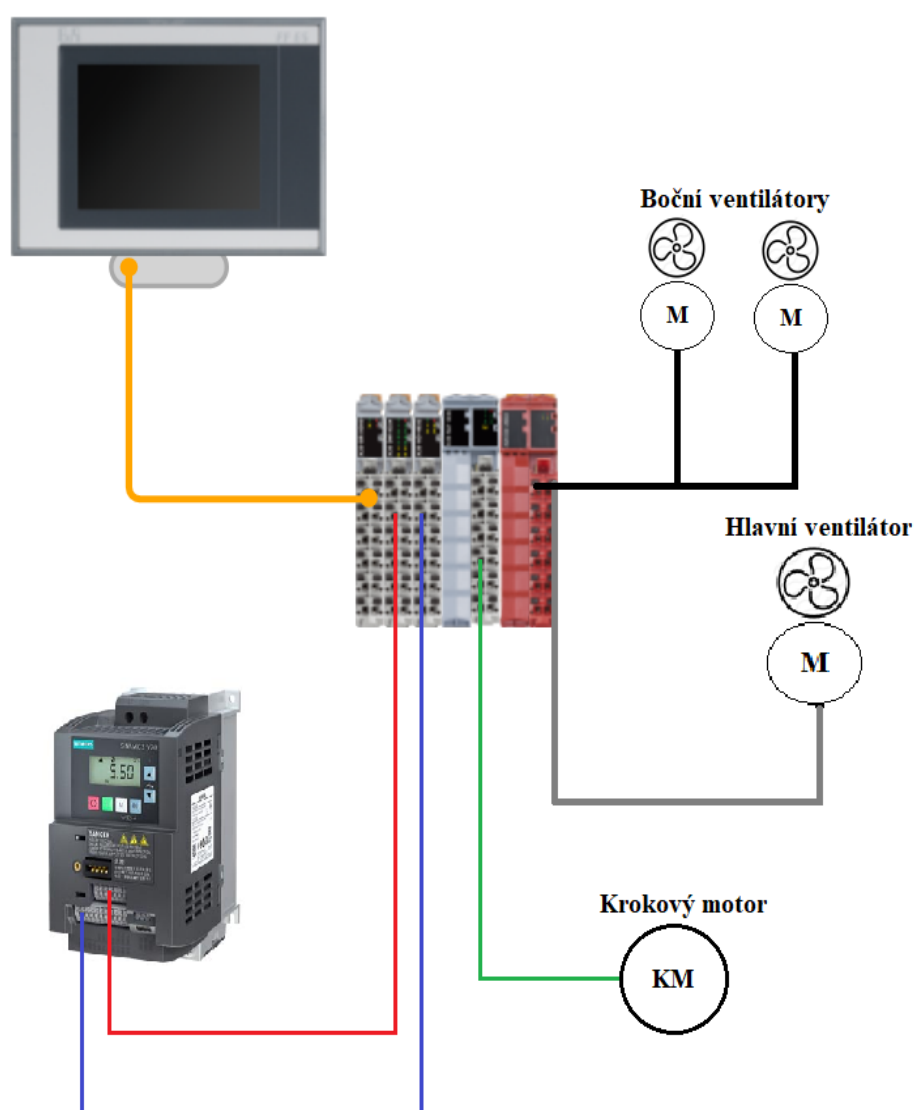
Pro lepší přehled zapojení celého zařízení se lze podívat do přílohy, kde lze nalézt výkres kompletní elektroinstalace zařízení.

1	2	3	4	5	6	7	8	9																												
F36_001-ODSTR																																				
 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI www.tul.cz				Technická Univerzita v Liberci Studentská 1402/2 461 17 Liberec Tel.. +420 732 866 154																																
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; border-bottom: 1px solid black;">Firma / zákazník</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Popis projektu</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">001</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Číslo projektu</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">TUL</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Komise</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Výrobce (firma)</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Technická Univerzita v Liberci</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Sloupec</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Název projektu</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Odstředivka</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Výrobek</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Odstředivé zvlákňovací zařízení</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Typ</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Místo instalace</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Technická Univerzita v Liberci</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Osoba odpovědná za projekt</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Zvláštnost dílu</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Vytvořeno dne</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">4. 1. 2022</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Zpracováno dne</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">13. 4. 2022</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> od Jakub Kubát Počet stran 12 </div>									Firma / zákazník	Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení	Popis projektu	001	Číslo projektu	TUL	Komise		Výrobce (firma)	Technická Univerzita v Liberci	Sloupec	Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení	Název projektu	Odstředivka	Výrobek	Odstředivé zvlákňovací zařízení	Typ		Místo instalace	Technická Univerzita v Liberci	Osoba odpovědná za projekt		Zvláštnost dílu		Vytvořeno dne	4. 1. 2022	Zpracováno dne	13. 4. 2022
Firma / zákazník	Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení																																			
Popis projektu	001																																			
Číslo projektu	TUL																																			
Komise																																				
Výrobce (firma)	Technická Univerzita v Liberci																																			
Sloupec	Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení																																			
Název projektu	Odstředivka																																			
Výrobek	Odstředivé zvlákňovací zařízení																																			
Typ																																				
Místo instalace	Technická Univerzita v Liberci																																			
Osoba odpovědná za projekt																																				
Zvláštnost dílu																																				
Vytvořeno dne	4. 1. 2022																																			
Zpracováno dne	13. 4. 2022																																			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> n/1 <table border="1" style="width: 80%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Datum</td> <td style="width: 15%;">11. 1. 2022</td> <td style="width: 15%;">TUL</td> <td style="width: 15%;">Technická Univerzita v Liberci</td> <td style="width: 15%;">Titulní strana</td> <td style="width: 15%;">n = 576</td> </tr> <tr> <td>Zprac.</td> <td>adire</td> <td>Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení</td> <td></td> <td></td> <td>n</td> </tr> <tr> <td>Opis.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Prv.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 15%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;">001</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Strana 2 / 12</td> </tr> </table> </div>									Datum	11. 1. 2022	TUL	Technická Univerzita v Liberci	Titulní strana	n = 576	Zprac.	adire	Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení			n	Opis.						Prv.						001	Strana 2 / 12		
Datum	11. 1. 2022	TUL	Technická Univerzita v Liberci	Titulní strana	n = 576																															
Zprac.	adire	Elektroinstalace odstředivého zvlákňovacího zařízení			n																															
Opis.																																				
Prv.																																				
001																																				
Strana 2 / 12																																				

Obrázek 4.4: Úvodní strana elektrodokumentace

5 Mapování

Prvním bodem tvorby řízení bylo přidání PLC modulů a PLC do projektu v Automation Studiu. Po přidání hardwaru bylo potřeba namapovat proměnné pro jednotlivé PLC karty a pro krokový motor.



Obrázek 5.1: Blokové schéma - propojení modulů na akční členy a frekvenční měnič.

Pro lepší představu, lze na obrázku 5.1 vidět propojení jednotlivých řídicích bloků na konkrétní akční členy.

5.1 Moduly

Mým záměrem bylo, aby měl uživatel možnost vidět ve vizualizaci informaci nejen o stavu karty, ale také sériové číslo, číslo modulu, variantu hardwaru a také verzi firmwaru. Tyto vlastnosti si uživatel může přechíst o každé PLC kartě v sekci diagnostika, navíc stav karty vždy uživatel vidí na obrazovce příslušného akčního členu, pro který je karta určena.

5.1.1 X20BR9300

Bus receiver umožňuje pouze zjišťování informací o sériovém čísle, čísle modulu, variantu hardwaru, verzi firmwaru a také podává informaci o statusu vstupu. Uživateli dovoluje zavést dvě proměnné, které ho mohou varovat před příliš vysokým proudem, vyšším než 2,3 A, nebo naopak před příliš nízkým napětím, nižším než 4,7 V. Druhá proměnná podává informaci o stavu napájení pro interní I/O moduly. Těchto proměnných pro signalizaci stavu napájení jsem využil, mohou být uživateli velice užitečné.

5.1.2 X20DM9324

Tento modul vstupů a výstupů, který vysílá signál pro start spinarety, má kromě již zmíněných informací zavedenu zpětnou vazbu z měniče. Tato zpětná vazba signalizuje stav motoru, čímž získáváme pouze informaci true/false, na základě které se rozhodují, zda se na spinaretě vyskytuje error.

5.1.3 X20AO4632

Pro tento modul jsou dostupné pouze běžné informace o stavu karty, sériovém čísle, ID, hardware variantě a verzi firmwaru. U modulu využívám analogový výstup 01, který jde do měniče, kam je v rozsahu 0 až 10 V namapován vstup definovaný uživatelem v podobě ot/min. Tento vstup je poté přepočten na rozsah karty a poslán do měniče, který poté řídí vysokootáčkové vřeteno.

5.1.4 X20SM1436

Tato karta slouží k řízení krokového motoru. Kromě klasických informací o stavu karty podává informace o pohonu. Karta může podávat informace o aktuální pozici motoru, hodnotu o čase poslední platné pozice, o stavu motoru, připravenosti motoru. Všechny tyto hodnoty jsem využil. Dále jsou namapovány výstupní proměnné pro ovládání motoru, krok motoru či povolení startu pohybu a další. Pro mapování těchto proměnných jsem využil volně dostupného Basic programu od B&R, který umí prezentovat základní vlastnosti motoru.

5.1.5 X20DO2633

U této karty, která řídí ventilátory, využívám hlavně signalizaci stavu karty, klasické informace a také „low current“ stavy. „Low current“ stavy slouží k testování, zda se ventilátor na výstupu z karty vyskytuje. Karta si proti nulovému vodiči otestuje přítomnost ventilátoru. Tuto informaci si může uživatel přečíst ve vizualizaci, jsou zde dvě signálky v záložce ventilátory.

5.2 Krokový motor

Mapování krokového motoru jsem dosáhl díky využití vzorového Basic programu od B&R. Osa umožňuje nastavit enkodér, limity parametrů, pozice, rychlosti pohybu, rampy při pohybu, homing a chybová hlášení. Při nastavování těchto hodnot jsem vyšel z hodnot nastavených už v programu Basic. Pro využití funkce motoru pro odstředivé zvlákňovací zařízení jsem změnil maximální hodnoty rychlostí pro pohyb motoru v obou směrech.

5.3 Asynchronní motor

Pro řízení spinarety bylo potřeba nastavit měnič Siemens SINAMICS V20. Nastavení měniče jsem prováděl pomocí ovládání a displeje nacházejícího se přímo na měniči. Podle datasheetu měniče bylo potřeba nastavit příslušný digitální vstup pro start motoru, analogový vstup pro zadání rozsahu 0 až 10 V a zpětnou vazbu. Měnič byl již dříve nastaven pro předchozí řízení bez programovatelného automatu, bylo potřeba nastavení zkontrolovat či ho přenastavit. Na měniči jsem musel nastavit parametr P0731, který nastavuje funkci digitálního výstupu 1, na 52.3, jedná se o invertovaný výstup chyby na měniči. Pokud se chyba vyskytuje, měnič hlásí hodnotu logické nuly, pokud se chyba nevyskytuje, měnič hlásí hodnotu logické jedničky. Dále jsem na měniči zkontroloval nastavení vstupu pro řízení motoru a nastavení analogového vstupu pro napětí.

Signál	vychází z	pin modulu	do zařízení	pin zařízení
start spinarety	X20DM9324	D0-01, pin 15	Frekvenční měnič	DI1, pin 8
stav spinarety	Frekvenční měnič	DO1, pin 8	X20DM9324	DO-04, pin 22
analog. výstup - napětí	X20AO4632	DO+01U, pin 12	Frekvenční měnič	AI1, pin 2
analog. výstup - 0 V	X20AO4632	DO-01, pin 13	Frekvenční měnič	0V, pin 5

6 Algoritmus pro řízení

Hlavním bodem zadání mé práce bylo vytvořit funkcionalitu, která bude reprezentovat funkci odstředivého zvlákňovacího zařízení. PLC jsem programoval v programovém prostředí Automation Studia a vizualizaci jsem testoval s využitím VNC Vieweru.

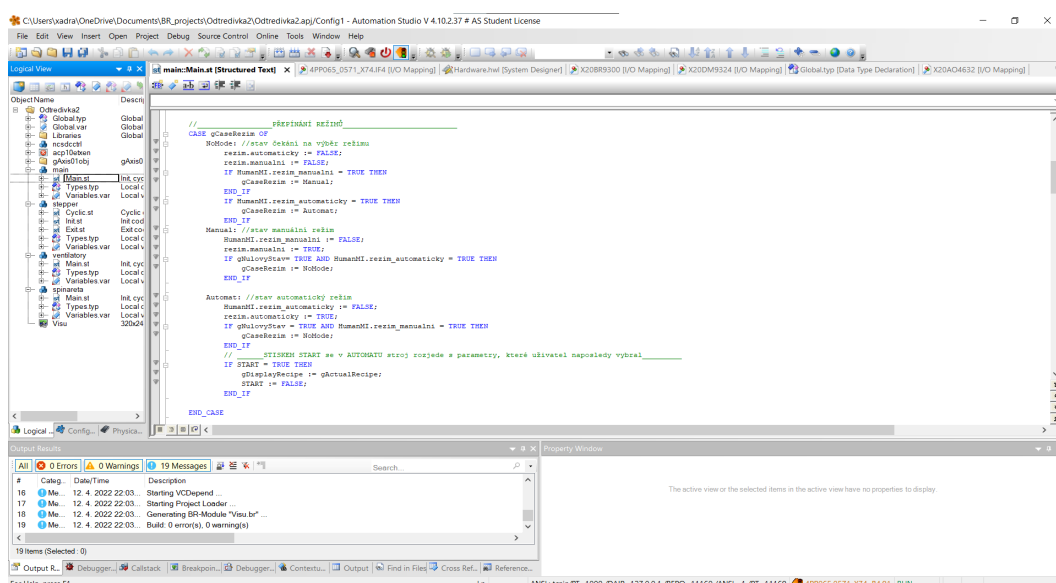
6.1 Programovací prostředí

6.1.1 Automation Studio

Řízení všech PLC modulů a PLC byly naprogramovány a vizualizace byla navržena v prostředí programu B&R Automation Studio verze 4.10.

„Automation Studio 4 je integrované vývojové prostředí pro jakékoli automatizační řešení - od řídicí a pohonné techniky až po HMI, vizualizaci, provoz a integrovanou bezpečnostní techniku“.[17]

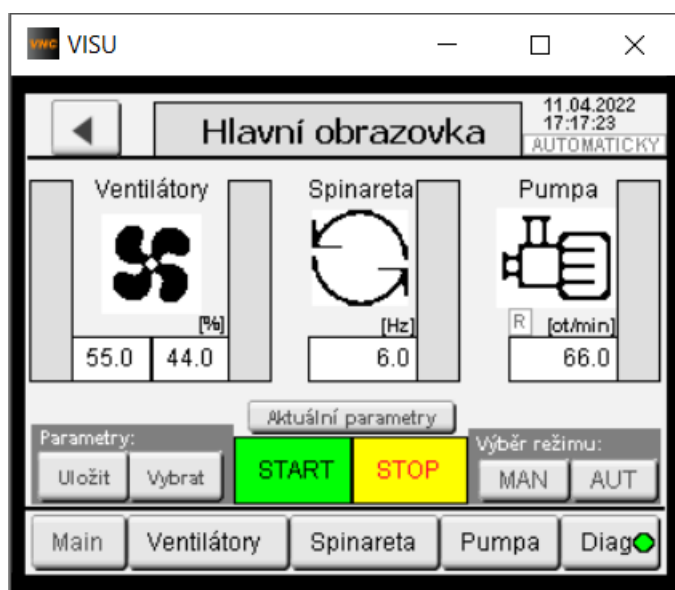
Automation studio umožňuje programovat PLC v jazycích dle normy IEC 61131-3, C, C++ a CFC. Pro svoji bakalářskou práci jsem využil jazyka ST, dle normy IEC 61131-3. [18]



Obrázek 6.1: Programovací prostředí B&R Automation Studio

6.1.2 VNC Viewer

VNC Viewer je aplikace, kterou jsem používal pro náhled vizualizace pro odstředivé zvlákňovací zařízení, při programování bez přístupu k PLC a zařízení. Využil jsem vizualizace přímo od firmy B&R. Programátor může v prostředí Automation studia využít simulace pro vizualizaci, tím vytvoří ze svého počítače PLC. Vizualizace umožňuje připojit se na virtuální simulované PLC, které uživatel vytvoří a umožňuje s ním pracovat jako s reálným zařízením. Je to vhodné pro ladění a testování funkcí vizualizace, pokud se uživatel nenachází u reálného hardwaru.



Obrázek 6.2: Náhled - Hlavní obrazovka v aplikaci VNC Viewer

6.2 Sady proměnných

6.2.1 Globální proměnné

V globálních proměnných jsou umístěny proměnné, které se používají převážně pro celé zařízení. Jsou zde proměnné zajišťující výběr parametrů, ukládání parametrů, interní proměnné zajišťující stisk tlačítka výběru sady parametrů, proměnné pro tvorbu stavových automatů pro spinaretu a krokový motor, proměnné pro výběr režimu, proměnné, do kterých jsou uloženy informace o stavu karet, proměnné aktuální sady receptur, všechny retain proměnné a proměnné pro tlačítka start, stop a stav výskytu chyby kdekoli na zařízení.

6.2.2 Lokální proměnné

Každá sekce programu (stepper, ventilátory, spinareta) má své lokální proměnné, které slouží k řízení jednotlivých členů. Jedná se především o proměnné nastavující časovače nebo maximální hodnoty.



























6.2.3 Receptury proměnných pro jednotlivé režimy

Každý režim zařízení si pamatuje poslední použité proměnné. Zvolil jsem zde návratové sady proměnných. Pro manuální režim jsou zapamatována data nastavená při předchozím zapnutí stroje. Tato data jsou uložena v receptuře `gManualRecipe`. Tato receptura slouží pro uchování proměnných, lze tak rychleji a jednodušeji spustit zařízení v manuálním režimu.

Pro automatický režim je také zapamatována receptura posledních použitých proměnných. Při volbě automatického režimu jsou tato data ihned vidět na hlavní obrazovce jako hodnoty u akčních členů. To zaručuje rychlé a snadné spuštění zařízení. Uživatel má možnost si vybrat data z tabulky receptur, kam lze uložit deset receptur, ale pouze pro automatický režim. Data lze volně přepisovat přímo v tabulce a nebo si uložit aktuální recepturu parametrů, která je právě pro režim nastavena.

6.3 Struktura programu

Před zahájením tvorby programu jsem si promyslel, jak by bylo vhodné program strukturovat, aby dal smysl uživateli i programátorovi. Vytvořil jsem sekce programu pro každý akční člen a sekci main, ve které se nastavují hlavní parametry společné pro celé zařízení.

Object Name	Description
 Odtredivka2	
 Global.typ	Global data types
 Global.var	Global variables
 Libraries	Global libraries
 ncsdctrl	
 acp10etxn	
 gAxis01obj	gAxis01obj
 main	
 Main.st	Init, cyclic, exit code
 Types.typ	Local data types
 Variables.var	Local variables
 stepper	
 Cyclic.st	Cyclic code
 Init.st	Init code
 Exit.st	Exit code
 Types.typ	Local data types
 Variables.var	Local variables
 ventilatory	
 Main.st	Init, cyclic, exit code
 Types.typ	Local data types
 Variables.var	Local variables
 spinareta	
 Main.st	Init, cyclic, exit code
 Types.typ	Local data types
 Variables.var	Local variables
 Visu	320x240 (QVGA)

Obrázek 6.3: Struktura programu

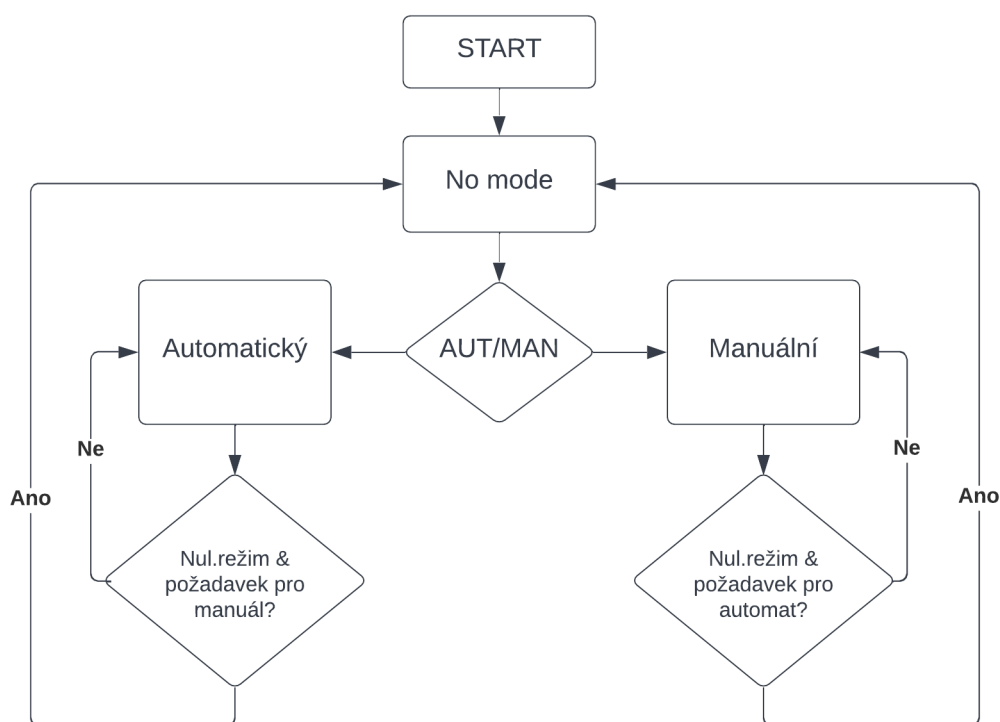
6.3.1 Programová jednotka main

Do hlavní sekce jsem umístil ovládání společných akcí, jako je výběr režimu zařízení, stisk centrálního **STOP** tlačítka umístěného na hlavní straně obrazovky, výpis aktuálně běžícího režimu v pravém horním rohu obrazovky, výběr aktuálních parametrů pro automatický režim, ukládání parametrů, stav, kdy je povolena změna režimu, testování výskytu chyby na kterékoli části zařízení a přepis kompletních receptur parametrů pro manuální i pro automatický režim.

Testování centrálního **STOP** tlačítka je provedeno pomocí jednoduché sekvenční logiky, pokud je stisknut stop, dojde k určité sérii akcí na celém zařízení a k zastavení všech akčních členů.

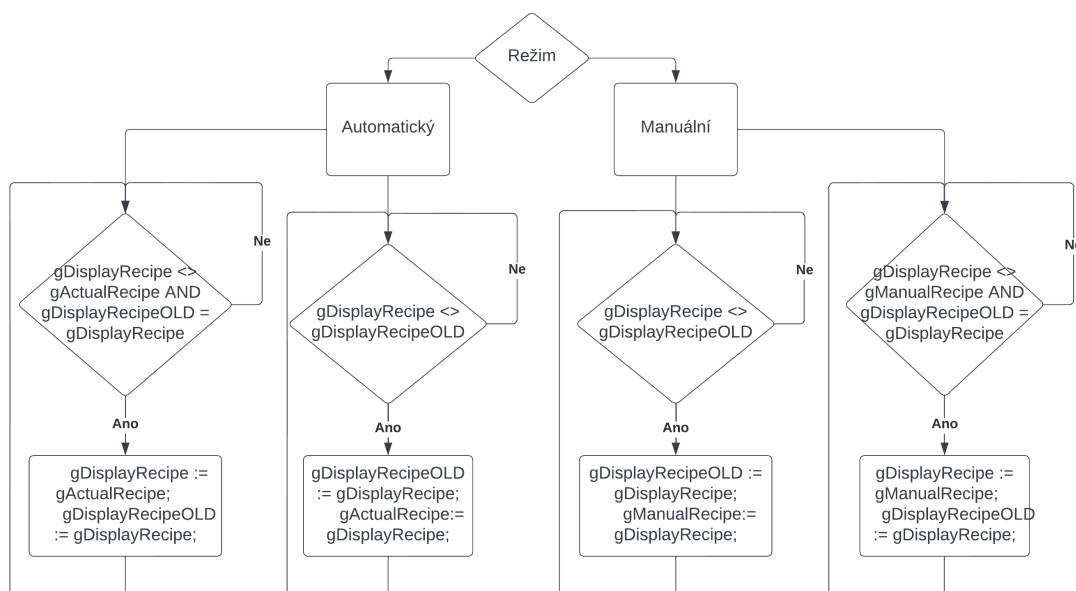
Stejným principem je testována chyba na zařízení, pokud dojde k výskytu chyby na PLC modulech či na akčním členu, tak je proměnná **ERROR** nastavena na true. Na základě této proměnné je poté pro každý akční člen vyvolána nějaká akce a především dojde k zastavení celého zařízení.

Pro nastavení režimů jsem použil stavový automat se třemi stavy. Zařízení se spustí v režimu **NoMode** a uživatel tak musí před spuštěním vybrat režim, jinak není schopen rozpohybovat kterýkoli akční člen. Po vybrání režimu přejde stroj dle volby uživatele do stavu **Manual** nebo **Automat**. Po výběru stavu uživatelem může dojít k přepnutí do druhého stavu pouze za předpokladu, že se stroj nachází v nulovém režimu. Nulový režim znamená uvést zařízení do klidového stavu, kterého může uživatel dosáhnout stisknutím žlutě podbarveného tlačítka **STOP** na hlavní obrazovce.



Obrázek 6.4: Vývojový diagram - výběr a přepínání režimů

Přepis parametrů mezi jednotlivými recepturami s parametry je prováděn pomocí následujícího vzorce. Vzorec je stejný pro každý akční člen a oba režimy. Parametry se přepisují proto, aby mohl uživatel měnit parametry přímo z hlavní obrazovky v kterémkoli z režimů. Vysvětlím zde funkci na příkladu bočních ventilátorů v automatickém režimu.



Obrázek 6.5: Vývojový diagram - přepis proměnných

Pokud je rozdílný `gDisplayRecipe` od pomocné proměnné `gDisplayRecipeOLD`, tak uživatel změnil některý z parametrů na hlavní obrazovce. Musí tedy dojít k přepsání hodnoty `gDisplayRecipeOLD` na hodnotu `gDisplayRecipe` a protože tento příklad je z automatického režimu, musí dojít k přepsání hodnot v receptuře `gActualRecipe`. Tato receptura slouží k předání dat do stavových automatů jednotlivých zařízení, odkud se data přenesou přímo na PLC moduly a poté do akčních členů. Nebo pokud je `gActualRecipe` rozdílný od `gDisplayRecipe` a zároveň `gDisplayRecipe` je roven `gDisplayRecipeOLD`, což znamená, že uživatel vybral z tabulky jinou sadu parametrů pro celé zařízení. V tomto případě musí dojít k přepsání sady parametrů z `gActualRecipe` do `gDisplayRecipe` a do `gDisplayRecipeOLD`.

Tato jednoduchá úvaha s využitím jedné pomocné struktury dovoluje uživateli měnit data na dvou místech, změnou sady parametrů vybrané z tabulky a nebo také změnou přímo z hlavní obrazovky.

Uživateli je umožněno ukládat a přepisovat sady parametrů, lze je přepsat parametry, které jsou právě nastaveny v automatickém režimu. Uživatel pouze vybere index, kam se má aktuální sada nastavená v automatickém režimu uložit a zadá povel uložit. Tímto uživatel může upravovat uložené parametry, nebo může editovat jednotlivé parametry přímo v tabulce s výběrem parametrů.

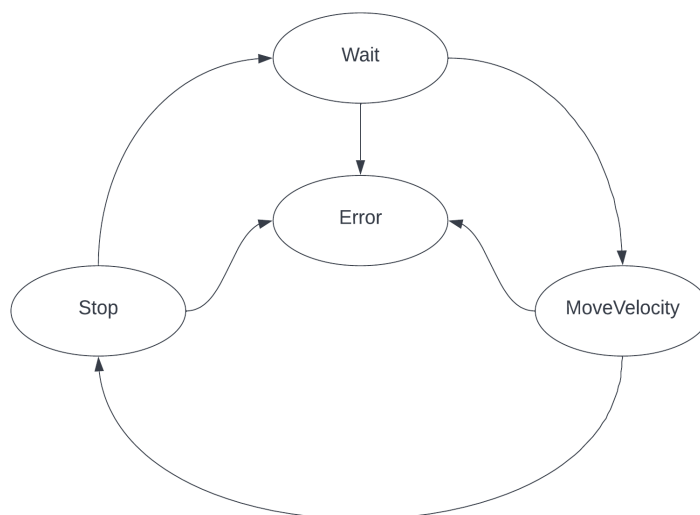
6.3.2 Programová jednotka stepper

Do sekce stepper jsem přiřadil všechny proměnné sloužící k nastavování parametrů krokového motoru. Hlavní Basic část použitého algoritmu pro řízení je převzata od B&R Automation. Dostupný algoritmus disponuje diagnostikou poruch, více informací lze zjistit z helpu B&R Automation.

Z algoritmu Basic využívám povel pro pohyb motoru dle nastavené rychlosti, nastavení rychlostí a limitů, povel pro stop motoru, stav erroru a zobrazení errorových hlášek.

K tomuto Basic algoritmu jsem doplnil svoji část, která umožňuje uživateli motor ovládat a nastavovat prostřednictvím vizualizace a s využitím prvků z Basic programu.

Stroj pracuje v automatickém i manuálním režimu ve stejném algoritmu. Algoritmus pro řízení krokového motoru jsem založil na stavovém automatu, který obsahuje následující čtyři stavy.



Obrázek 6.6: Stavový automat pro krokový motor

Stav Wait:

Stav Wait, ve kterém se akční člen spustí a čeká na povel v podobě startu, který je zadaný uživatelem prostřednictvím vizualizace a tlačítka **START** pro manuální režim, případně stiskem startu na hlavní obrazovce pro automatický režim.

Stav MoveVelocity:

Pro předávání parametrů a povelu pro pohyb motoru jsem zavedl stav motoru **MoveVelocity**. Když uživatel stiskne tlačítko **START**, motoru je předán power a parametr pro nastavení směru otáčení pumpy. Rychlost motoru zadaná uživatelem je zde přepočtena na rozsah karty a zapsána do proměnné v Basic programu. Pro výpis hodnoty otáčení motoru do "colorbaru" na hlavní obrazovce je nastavená hodnota otáčení předána do jiné proměnné. Vytvořil jsem další proměnnou, protože

jsem chtěl, aby uživatel viděl na „colorbaru“ na hlavní obrazovce hodnotu, kterou motoru skutečně zadal v ot/min. Zobrazením přepočtené hodnoty na rozsah karty, či hodnoty zadané uživatelem, by mohlo dojít ke zmatení uživatele. Pokud by uživatel nestiskl **START** tlačítko, ale hodnota už by byla skrz obrazovku zadána, došlo by k zobrazení stavu této hodnoty na „colorbaru“. Avšak hodnota nové proměnné je předána pouze v případě, pokud se motor otáčí, proto je předávání této hodnoty nastaveno zde ve stavu **MoveVelocity**. Po nastavení hodnoty otáčení je v tomto stavu motor spuštěn nastavením příslušné proměnné v programu **Basic** na hodnotu **true**.

Stav Stop:

Pro zastavení motoru jsem zavedl do stavového automatu stav **Stop**. V tomto stavu se vynuluje hodnota zobrazující stav „colorbaru“ na hlavní obrazovce. Motoru je odebrán **power** a dostane příkaz **stop**, zároveň dojde k vypnutí požadavku o pohyb motoru. Hodnota, která je předávána do **Basic** programu jako otáčky motoru, které jsou přepočítané na rozsah karty, je vynulována, ale hodnoty v aktuálních receptech se nenulují. Může tak poté být učiněno opětovného startu bez nutnosti uživatele, znovu zadat do displeje další parametry.

Stav Error:

Při výskytu chyby je zaveden ve stavovém automatu stav **Error**. V tomto stavu dojde podobně jako ve stavu **Stop** k vynulování hodnoty v kartě motoru, k odebrání požadavku pro pohyb a napájení (**power**). Dokud není uživatelem chyba odstraněna, nemůže být motor spuštěn znovu. Motor v tomto stavu stavového automatu setrvává, dokud nejsou všechny chyby odstraněny.

Pro běh stroje v automatickém režimu je přidán k výše popsanému stavovému automatu ještě časovač, který zaručuje zpožděné spuštění pumpy. V manuálním režimu zpoždění není zavedeno, předpokládá se, že se zařízením bude manipulovat pouze osoba k tomu pověřená.

Časovač je založen na interní funkci časovače se zpožděným zapnutím - **TON**. Při změně na vstupu dojde ke spuštění časovače. Uživatel může čas zpoždění měnit, čas je zadáván v milisekundách. Pokud žádný čas před prvním spuštěním stroje není zadán, čas zpoždění bude nastaven na 5 s. Paměť pro časové zpoždění je návratová, uživatel čas zadá při prvním spuštění zařízení, poté bude čas zařízením zapamatován i pro opětovné zapnutí stroje.

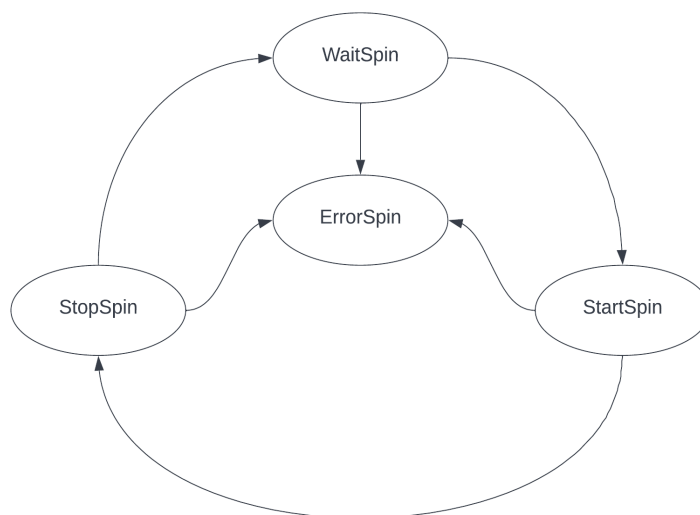
6.3.3 Programová jednotka ventilatory

Tato sekce se zabývá nastavováním parametrů hlavního i bočních ventilátorů. Pro ventilátory je vytvořen jednoduchý algoritmus pouze pomocí sekvenčních příkazů. Zde jsem neuvažoval o stavovém automatu, protože z důvodu absence zpětné vazby by zde stavový automat se dvěma stavy, představujícími **Move** a **Stop**, postrádal význam. Využil jsem jednoduché sekvenční logiky, kde dochází v manuálním režimu ke startu ventilátoru po stisknutí tlačítka **START**. Před stiskem tlačítka **START** musí být zadána hodnota otevření ventilátorů. Pro zastavení ventilátorů v manuálním režimu může uživatel využít tlačítka **STOP** na straně s ovládáním ventilátorů, nebo

hlavního STOP tlačítka na hlavní obrazovce. Pro automatický režim je algoritmus tvořen také pomocí sekvenčního příkazu. Pro roztočení ventilátorů musí uživatel vybrat parametry z tabulky s recepty a stisknout tlačítko START pro automatický režim.

6.3.4 Programová jednotka spinareta

Pro spinaretu jsem použil stavového automatu se čtyřmi hlavními stavy, ve kterých se tento akční člen pohybuje.



Obrázek 6.7: Stavový automat pro krokový motor

Stav WaitSpin:

Po spuštění se spinareta nachází ve stavu **WaitSpin**, kde pouze čeká na povel ke startu. Zároveň se v tomto stavu testuje, zda přišel povel ke startu, pokud povel přijde, stav se mění ze stavu **WaitSpin** na stav **StartSpin**.

Stav StartSpin:

Zde je definován přepoččet na rozsah karty z dat, které zadal uživatel skrz obrazovku. Také je zde nastaven výpis do "colorbaru" na hlavní obrazovku. Hodnota zadaná uživatelem je kopírována do proměnné, ale v případě požadavku pro stop je vynulována. Logika je zde vymyšlena stejně, jako je tomu v části programové jednotky stepper. Po předání přepočtené hodnoty do karty je motoru zadán povel pro pohyb.

Stav StopSpin:

Pokud bude chtít uživatel spinaretu zastavit, spinareta přejde do stavu **StopSpin**. V tomto stavu se motoru odebere povel pro pohyb a výstup v kartě se nastaví na nulu. Dále je vymazán stav "colorbaru" z hlavní obrazovky. Data v recepturách se nepromazávají, slouží pro další rychlý start akčního členu. Po zastavení motoru přejde spinareta do stavu **WaitSpin**, kde čeká na další povel ke startu.

Stav ErrorSpin:

Pokud karta přijme chybovou hlášku, která je zavedena z měniče jako zpětná vazba, motor se přesune do stavu **ErrorSpin**. V tomto stavu motor setrvává dokud, se uživateli nepovede tuto chybu odstranit.

Stav **ErrorSpin** je podobný stavu **StopSpin**, motoru je odebrán povel pro pohyb a jsou vymazány hodnoty z karty, která posílá parametry do měniče. Dále je vynulován stav "colorbaru" na hlavní obrazovce.

V automatickém režimu motor přejde po stisku tlačítka **START**, ovládajícího pohony v automatickém režimu, do stavu **StartSpin**. Manuální režim a automatický se prakticky v ničem neliší, pouze mají jiné tlačítko, které motor spouští.

6.4 Detekce chyb a jejich zobrazení uživateli

Pro celé zařízení jsem se snažil využít všech dostupných zpětných vazeb pro akční členy, více v kapitole 5 (Mapování). Zařízení obsahuje jednoduchou diagnostiku pro všechny PLC moduly a zpětné vazby od krokového motoru až po spinaretu.

PLC moduly

O každém modulu lze zjistit sériové číslo, ID číslo modulu, variantu hardwaru, verzi firmwaru a především jeho stav. Všechny moduly dávají uživateli informaci true/false o svém stavu.

Spinareta

Pro spinaretu je dostupná informace z měniče, zda je akční člen v pořádku.

Stepper

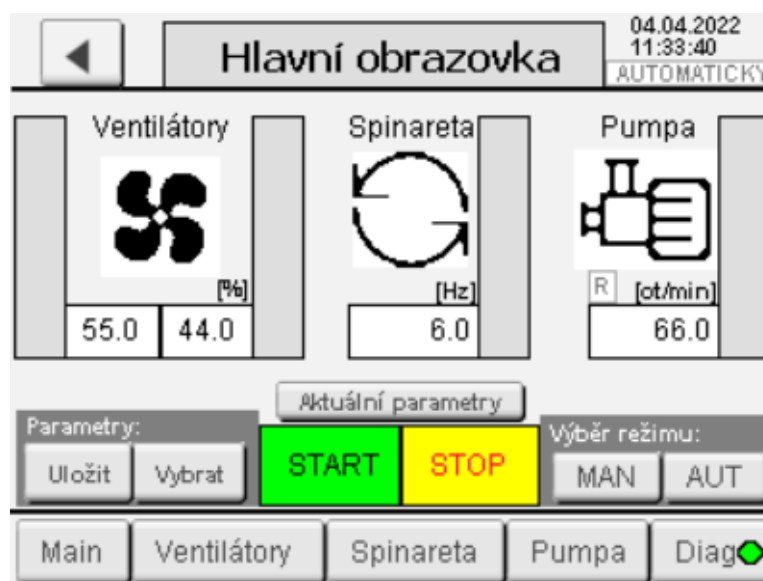
Krokový motor má díky využitému programu Basic dostupnou celou škálu možných chybových hlášení. V případě výskytu chyby vidí uživatel číslo chyby a text. Více informací o chybových hlášeních krokového motoru lze zjistit z helpu B&R Automation.

7 Vizualizace

Vizualizaci jsem vytvořil v prostředí B&R Automation studio s využitím funkčního bloku VISU. Vizualizaci jsem vytvořil tak, aby byla uživatelsky přívětivá, srozumitelná, přehledná a jednoduše ovladatelná. Zařízení obsahuje obrazovku pro každý akční člen, obrazovku s diagnostikou a hlavní obrazovku, která poskytuje uživateli přehled o celém zařízení. Níže popíši hlavní obrazovku, obrazovku s diagnostikou a pro příklad jednu obrazovku akčního členu. Kompletní popis všech obrazovek lze nalézt v návodu k obsluze, který lze nalézt v příloze práce.

7.1 Hlavní obrazovka

Z hlavní obrazovky má uživatel přehled o chodu stroje, výskytu chyb, aktuálním režimu, aktuálních hodnotách jednotlivých akčních členů pro daný režim, v kterém zařízení právě běží.



Obrázek 7.1: Hlavní obrazovka

V horní části všech obrazovek má uživatel možnost stisknout tlačítko zpět, které má funkci „backPage“ a slouží k návratu o jednu stránku zpět. Uprostřed horní části je uveden vždy název aktuální strany, slouží pro lepší orientaci v zařízení.

V pravém horním rohu se nachází datum, čas a pod nimi je pole, kde se zobrazuje právě vybraný aktuální režim, v kterém zařízení běží.

Na hlavní obrazovce uprostřed vidí uživatel všechny akční členy, včetně „colorbarů“, které zobrazují, jestli stroj opravdu běží. Číselné hodnoty pod jednotlivými ikonami akčních členů zobrazují vybrané receptury s parametry, které jsou rozdílné pro automatický a pro manuální režim. Všechny parametry umožňují uživateli vidět i jednotky, ve kterých se dané parametry zadávají. Mezi stranami s akčními členy se lze také přepínat pomocí stisknutí ikon jednotlivých akčních členů.

Uživatel má možnost se pomocí tlačítka uprostřed přepnout na přehled aktuálních parametrů, kde lze nahlédnout do aktuálně vybraných parametrů pro automatický i manuální režim.

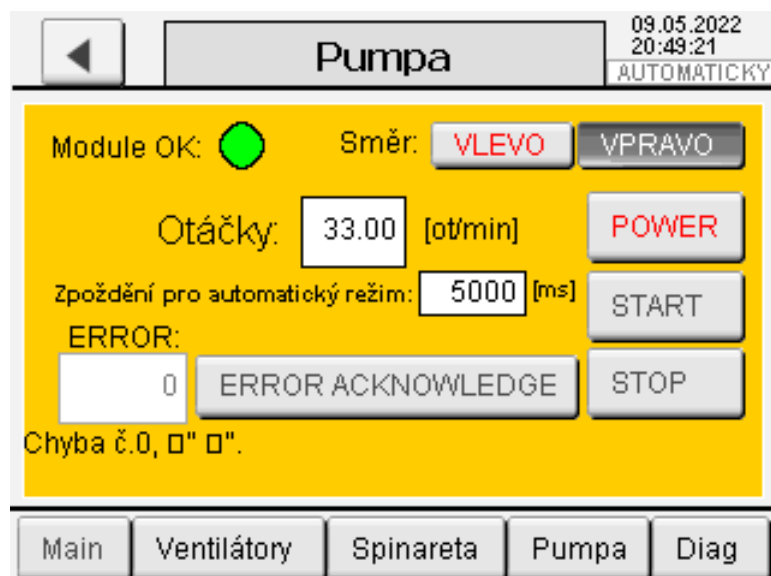
V části parametry si uživatel vybírá sadu parametrů pro všechny akční členy pro automatický režim. Další možností je uložení aktuálních parametrů do seznamu parametrů na příslušný vybraný index.

Se zeleným podbarvením najdeme níže uprostřed tlačítko **START**, které slouží pouze pro start zařízení v automatickém režimu s předem vybranými daty. Se žlutým podbarvením je zde umístěno tlačítko **STOP**, které slouží k zastavení zařízení pro automatický, ale i pro manuální režim.

Napravo od **STOP** tlačítka najdeme tlačítka pro výběr režimu. Změna režimu je uživateli umožněna pouze za předpokladu, že jsou všechny akční členy nečinné.

7.2 Obrazovka pro ovládání krokového motoru

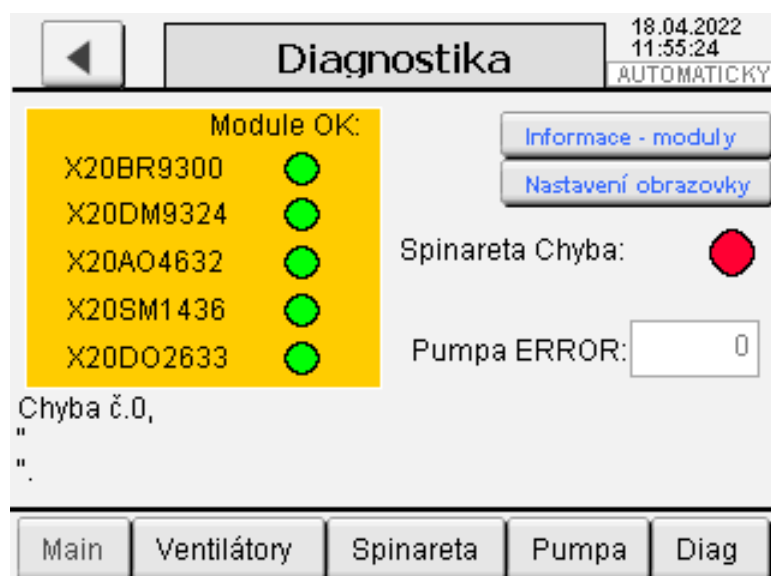
Na všech obrazovkách akčních členů je vždy vidět stav PLC modulu, který se zabývá řízením příslušného akčního členu. Zde můžeme vidět v levém horním rohu signálku pro stav karty X20SM1436, která slouží k řízení krokového motoru. Obrazovka krokového motoru je nejvíce rozsáhlá, co se týče ovládání a nastavování všech potřebných parametrů pro chod v automatickém či manuálním režimu. Pro krokový motor je možné nastavit směr otáčení. Směr je určen při pohledu čelem proti ose motoru. Nastavování otáček je uživateli umožněno v rozsahu setin otáček za minutu. Pro krokový motor v automatickém režimu je potřeba nastavovat časové zpoždění. Nastavení tohoto zpoždění je prováděno zde na obrazovce krokového motoru, více informací o proměnné se lze dočíst v kapitole 6.3.2. Na pravé straně lze vidět tlačítko pro zapnutí napájení do motoru, tlačítko pro **start** motoru a tlačítko **stop** pro zastavení motoru. V dolní části obrazovky lze při výskytu chyby na krokovém motoru vidět identifikační číslo chyby a text, který popisuje, kde byla nalezena chyba. Pro odstranění chyby je zde tlačítko potvrzení chyby **ERROR ACKNOWLEDGE**.



Obrázek 7.2: Obrazovka krokového motoru

7.3 Obrazovka pro diagnostiku

Pro diagnostiku celého zařízení jsem vytvořil jednoduchou a přehlednou stranu, na které uživatel vidí stav celého zařízení.



Obrázek 7.3: Obrazovka diagnostiky zařízení

V oranžovém rámečku v levé horní části obrazovky vidí uživatel stavy všech PLC modulů. Ke zjištění dalších informací ohledně modulů může uživatel využít tlačítko s modrým textem **Informace - moduly** nacházející se v pravém horním rohu, kterým přejde na stranu s PLC moduly. Na straně s PLC moduly bude uživatel

kliknutím na požadovaný modul přesměrován na stranu s informacemi o daném modulu, kde lze zjistit ID modulu, verzi firmwaru a další dostupné informace. Tlačítko s modrým textem níže přesměruje uživatele na stranu s nastavením, kde lze nalézt kalibraci dotykové obrazovky.

Pro akční členy zde uživatel nalezne rychlou a přehlednou diagnostiku. Pod tlačítky vpravo je vidět signálku zobrazující případný výskyt chyby na spinaretě. Pod signálkou se nachází box pro výpis ID erroru na pumpě, pokud se bude na akčním členu vyskytovat chyba. Nad tlačítky se v dolní části obrazovky vyskytuje pole pro výpis chyby na pumpě, kde je podle čísla chyby vypsán error v textové podobě.

Tento výpis chybových stavů na zařízení lze také nalézt na každé straně příslušající akčnímu členu.

Panel v dolní části všech obrazovek poskytuje uživateli možnost přepínat mezi stranami: hlavní strana, ventilátory, spinareta, pumpa či diagnostika celého zařízení. Tlačítko diagnostiky v sobě obsahuje ukazatel výskytu chyby na zařízení. Pokud je ukazatel červeně podbarven, na zařízení se vyskytla chyba. Uživatel se může dále podívat na stranu s diagnostikou a pokusit se chybu identifikovat a odstranit ji.

8 Shrnutí práce

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval tvorbou řízení pro odstředivý zvlákňovací stroj. Nejprve jsem dokončil elektroinstalaci, instaloval jsem PLC moduly, které jsem později využil pro ovládání akčních členů. Během tvorby elektroinstalace jsem dokončil elektronickou formu dokumentace, kterou lze nalézt v příloze. Řízení zařízení jsem realizoval pomocí PLC automatu, který jsem naprogramoval ve strukturovaném textu. Pro řízení jednotlivých akčních členů jsem vytvořil stavové automaty se čtyřmi základními stavy. Pro řízení ventilátorů jsem využil jednoduché sekvenční logiky. Ventilátory neobsahují žádné zpětné vazby, nebylo třeba pro ně vytvářet stavový automat. Pro ovládání zařízení jsem vytvořil jednoduchou a uživatelsky srozumitelnou vizualizaci. Pro uživatele jsem vytvořil stručný návod k obsluze, který obsahuje přehled pro ovládání všech akčních členů a popis všech obrazovek.

Po dokončení elektroinstalace jsem při testování narazil na problém chybějícího propojení měniče se zemí. Po opětovném náhledu do dokumentace byl problém nalezen a odstraněn. Dalším problémem byla příliš velká indukční zátěž velkého ventilátoru, triaková karta nebyla schopna reagovat na změny při vyšším výkonu. Problém jsem otestoval s vedoucím práce pomocí nahrazení ventilátoru žárovkou. Změny na žárovce se projevovaly okamžitě a karta regulovala bezchybně v celém rozsahu. Problém se povedlo odstranit přidáním podmínky, která se vždy provedla při požadavku na změnu výkonu. Při požadavku na změnu výkonu byla nejprve zátěž stažena na 100 milisekund na nízký výkon a poté nastavena na požadovanou hodnotu.

Pro možnost ještě lepšího ovládání by bylo v budoucnu možné přidat na zařízení držák pro PLC s předem navrženou délkou ramene. Poté by s PLC bylo možné pohybovat v rámci celé délky ramene, čímž by se dosáhlo ještě lepšího ovládání. Pokud by chtěl uživatel stát s PLC před zařízením v aktuálním provedení, musel by jednou rukou PLC držet a druhou ruku používat pro dotyk s obrazovkou. S využitím držáku by bylo možné zařízení ovládat pouze jednou rukou. Bylo by potřeba dodělat kryt hlavního ventilátoru, na kterém je stále umístěno původní řízení akčního členu, který není namontován na zařízení.

9 Závěr

Po seznámení se s aktuálním stavem elektroinstalace se mi povedlo úspěšně zkompletovat elektroinstalaci dle dokumentace komponent. Po dokončení elektroinstalace a vložení do rozvaděče jsem vytvořil algoritmus pro řízení jednotlivých akčních členů. Algoritmus jsem tvořil ve strukturovaném textu. Pro zařízení jsem vytvořil uživatelsky přehlednou, intuitivní a jednoduše ovladatelnou vizualizaci, pomocí které lze ovládat jednotlivé akční členy, diagnostikovat stavy karet a akčních členů, které mají zavedeny zpětné vazby. K zařízení jsem vytvořil stručný návod k obsluze, který popisuje zapnutí zařízení, vypnutí zařízení a jednotlivé obrazovky. K zařízení jsem také vytvořil výkres elektrodokumentace v softwaru E-plan.

Otestoval jsem funkcionalitu všech akčních členů. Bohužel zatím nemám zpětnou vazbu od koncového uživatele. Aktuálně se čeká na zpětnou vazbu od uživatele. Případné změny budou zapracované během dalších týdnů.

Literatura

- [1] *80MPF3.250S000-01 datasheet* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/motion-control/80mp-stepper-motors/stepper-motors-without-encoder/80mpf3250s000-01/?noredirect=1>.
- [2] *Example: Stepper motor with the IP65 upgrade option / connection terminal provided by the IP65 option* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/motion-control/80mp-stepper-motors/stepper-motors-without-encoder/80mpf3250s000-01/?noredirect=1%5C%7D>.
- [3] *Trífázový asynchronní motor - vřeteno FT4C...* [Online]. Bratří Čapků 722, 547 01 NÁCHOD, Česká Republika: ATAS elektromotory Náchod a.s., 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.atas.cz/files/FT4C.pdf>.
- [4] *Série AP PROFI* [online]. Dalap.cz, 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://dalap.cz/potrubni-ventilatory/19-1370-series-ap-profi>.
- [5] *industrial fan Dalap AP PROFI* [online]. DALAP s.r.o., 2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://dalap.cz/potrubni-ventilatory/19-1370-series-ap-profi>.
- [6] *Axial inline fans - VENTS VKO 01 series* [online]. palmat.cz, 2012 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: https://www.palmat.cz/user/related_files/131126084759-vko1_katalog-11.pdf.
- [7] *Datasheet 4PP065.0571-X74* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/hmi/power-panel-65/power-panel-65/4pp0650571-x74/?noredirect=1>.
- [8] *Programovatelný logický automat B&R Automation 4PP065.0571-X74* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/hmi/power-panel-65/power-panel-65/4pp0650571-x74/?noredirect=1>.
- [9] *Siemens SINAMICS V20* [online]. mall.industry.siemens.com, 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters/standard-performance-frequency-converter/sinamics-v20.html>.

- [10] *X20(c)BR9300 datasheet* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/downloads/control-and-io-systems/x20-system/bus-receivers-transmitters/x20br9300/datasheet-x20cbr9300/?noredirect=1>.
- [11] *X20(c)DM9324 datasheet* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/io-systems/x20-system/digital-inputsoutputs/x20dm9324/?noredirect=1>.
- [12] *X20(c)AO4632 datasheet* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/io-systems/x20-system/analog-outputs/x20ao4632/?noredirect=1>.
- [13] *X20SM1436 datasheet* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/io-systems/x20-system/motor-controllers/x20sm1436/?noredirect=1>.
- [14] *X20(c)DO2633 datasheet* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/products/io-systems/x20-system/digital-outputs/x20do2633/?noredirect=1>.
- [15] *Data sheet DB EN TRIO-PS-2G/1AC/24DC/5* [online]. 32823 Blomberg, Germany: PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, 2015 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/produkty/elektricke-napajeni-trio-ps-2g1ac24dc5-2903148>.
- [16] *Siemens SINAMICS V20* [online]. mall.industry.siemens.com, 2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6SL3210-5BB21-5BV1>.
- [17] *Automation Studio 4* [online]. B&R Industrial Automation, 2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/software/>.
- [18] JOHN, Karl-Heinz; TIEGELKAMP, Michael. *IEC 61131-3:programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, decision-making aids*. [Online]. 2. vyd. 2010 [cit. 2022-04-11]. ISBN 978-3-642-12014-5.

Seznam obrázků

1.1	Odstředivé zvlákňovací zařízení	11
2.1	Krokový motor B&R s krytem se svorkami. [2]	13
2.2	Ventilátor Dalap AP Profi. [5]	14
2.3	Programovatelný logický automat, typ 4PP065.0571-X74 (PLC v kombinaci s dotykovým operátorským panelem) [8]	15
2.4	Hardwarová konfigurace + externí zařízení SINAMICS V20. [9]	15
2.5	PLC moduly	16
2.6	Frekvenční měnič Siemens SINAMICS V20	18
4.1	Stav elektroinstalace před započítím realizace úprav	21
4.2	Dokončená elektroinstalace po vložení do rozvaděče	23
4.3	Foto rozvaděče zvenku	24
4.4	Úvodní strana elektrodokumentace	25
5.1	Blokové schéma - propojení modulů na akční členy a frekvenční měnič.	26
6.1	Programovací prostředí B&R Automation Studio	29
6.2	Náhled - Hlavní obrazovka v aplikaci VNC Viewer	30
6.3	Struktura programu	31
6.4	Vývojový diagram - výběr a přepínání režimů	32
6.5	Vývojový diagram - přepis proměnných	33
6.6	Stavový automat pro krokový motor	34
6.7	Stavový automat pro krokový motor	36
7.1	Hlavní obrazovka	38
7.2	Obrazovka krokového motoru	40
7.3	Obrazovka diagnostiky zařízení	40

A Přílohy

- Elektrotechnická dokumentace zařízení, PDF formát (Elektrodokumentace-Odstredivka.pdf)
- Návod k obsluze zařízení, PDF formát (NavodKObsluzeZarizeni.pdf)
- Celý projekt Odstředivky (B&R Automation Studio) (Odstredivka.zip)