

Návrh jednoúčelového stroje pro uzavírání lahví

Design of a Single-purpose Machine for Bottle Caps Installation

Bc. Silvestr Vaculovič

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.

Ostrava, 2021

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o návrhu jednoúčelového stroje, který slouží pro uzavírání různých typů víček na naplněných lahvích. Obsahem práce je návrh hardware, software a následné oživení stroje. Při návrhu hardwaru jsou vytipovány komponenty a následně jsou vytvořeny elektrické a pneumatické obvody za splnění podmínek kladených na bezpečný chod stroje. Návrh softwarové části je realizován na programovatelném automatu Unitronics Visilogic, kde komunikace se snímači a akčními prvky probíhá skrze I/O periferie. Součástí řídicího systému je vizualizační rozhraní na kterém je možné měnit jednotlivé parametry stroje.

Klíčová slova

jednoúčelový zavírací stroj, láhev, víčko, otočná růžice, inkrementální senzor, SRP/SC, PLC

Abstract

This diploma thesis is focusing on a design of a single-purpose machine, which is used for attaching a different kind of lids on filled up bottles. Content of this thesis include design of hardware, software and commissioning. Components were selected during hardware design after that electrical and pneumatic circuits were made to fulfill requirements for safe operation of the machine. Software part was created in programming software Unitronics Visilogic where communication between sensors and action elements is done by I/O modules. Control system contain visualization interface and through it parameters can be individually changed.

Keywords

capping machine, bottle, cap, tube, rotating rose, incremental sensor, SRP/SC, PLC

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D za odborné vedení a cenné rady při vypracování diplomové práce.

Rovněž bych chtěl poděkovat firmě IMACO group, s.r.o. za umožnění vykonávat diplomovou práci na reálném projektu.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam použitých symbolů a zkratek | 6 |
| 1 Úvod | 8 |
| 2 Rozbor konstrukce | 9 |
| 2.1 Formáty materiálů | 10 |
| 2.2 Kostrunkční části stroje | 11 |
| 2.3 Seznam požadavků | 17 |
| 3 Funkční analýza činnosti stroje | 18 |
| 3.1 Režimy stroje | 18 |
| 3.2 Funkční analýza | 18 |
| 4 Analýza rizika a zajištění funkční bezpečnosti | 22 |
| 4.1 Posouzení rizika | 23 |
| 4.2 Zhodnocení rizika | 24 |
| 4.3 Posouzení rizika podle ČSN EN 13849-1 | 25 |
| 4.4 SRP/SC architektury podle ČSN EN 13849-1 | 26 |
| 4.5 Realizace bezpečnosti | 28 |
| 5 Návrh hardwarové části stroje | 37 |
| 5.1 Popis HW komponent | 37 |
| 5.2 Návrh elektrické části stroje | 44 |
| 5.3 Návrh pneumatické části stroje | 50 |
| 6 Návrh a realizace řídicí aplikace | 55 |
| 6.1 Elementární SW | 56 |
| 6.2 Komunikace s okolím | 58 |
| 6.3 Funkční programy | 60 |
| 6.4 Paměť | 66 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.5 | Pracovní režimy stroje | 67 |
| 7 | Návrh a realizace uživatelského rozhraní | 69 |
| 7.1 | Použité objekty | 69 |
| 7.2 | Přepínání obrazovek | 70 |
| 7.3 | Volba jazyků | 70 |
| 7.4 | Obrazovky | 72 |
| 8 | Testování stroje a uvedení do provozu | 77 |
| 9 | Závěr | 79 |
| | Literatura | 80 |
| | Přílohy | 82 |
| A | Soubory | 82 |

Seznam použitých zkratek a symbolů

| | |
|-------------------|--|
| AC | – Alternating Current |
| AI | – Analog Input |
| AO | – Analog Output |
| BLDC | – Brushless DC electric motor |
| ČSN | – České technické normy |
| CCF | – Common cause failure |
| DC | – Direct Current |
| DC | – Diagnostic Coverage |
| DI | – Digital input |
| DO | – Digital output |
| EMC | – Elektromagnetic Compatibility |
| EN | – European Standard |
| HMI | – Human Machine Interface |
| HSC | – High speed counter |
| HW | – Hardware |
| IEC | – International Electrotechnical Commission |
| IP | – Internet Protocol |
| ISO | – International Organization for Standardization |
| LED | – Light Emitting Diode |
| LD | – Ladder Diagram |
| MB | – Memory Bit |
| MI | – Memory Integer |
| ML | – Memory Long |
| MTTF _d | – Mean Time to Failure |
| NO | – Normally Open Contact |
| NC | – Normally Close Contact |
| PELV | – Protective Extra-Low Voltage |
| PFH _d | – Probability of Failure per Hour |

| | |
|--------|---|
| PL | – Performance Level |
| PLC | – Programmable Logic Controller |
| RO | – Relay Output |
| SRP-SC | – Safety-Related Parts of Control Systems |
| TCP-IP | – Transmission Control Protocol - Internet Protocol |
| TO | – Transistor Output |
| VFD | – Variable Frequency Drive |

Kapitola 1

Úvod

Podkladem pro diplomovou práci byl projekt realizovaný ve firmě IMACO group, s.r.o. - jednoúčelový stroj pro uzavírání lahví. Cílem práce je navrhnout elektrotechnické a pneumatické obvody stroje a následně navrhnout a realizovat řídicí software s vizualizačním rozhraním. Během práce bylo zapotřebí dodržet požadavky, které byly specifikovány od reálného zákazníka.

V úvodní části je proveden rozbor konstrukčních částí stroje společně s rozбором formátových dílů - víčka a láhve. Další část se zabývá provedením funkční analýzy činnosti stroje.

Čtvrtá kapitola se zabývá analýzou rizika a zajištěním funkční bezpečnosti jednoúčelového stroje. V této kapitole je nejdříve proveden teoretický úvod zabývající se analýzou rizika. Dále jsou rozebrány komponenty pro realizaci SRP-SC systému a je provedeno ověření zvolené bezpečnostní architektury s ohledem na bezpečnostní úroveň PL.

Pátá kapitola se zabývá návrhem hardwarové části stroje. Jsou zde rozebrány jednotlivé komponenty a použité principy. Zhotovený hardware je zachycený na obrázcích či modelech.

Šestá kapitola se zabývá návrhem řídicí aplikace PLC, která byla prováděna v prostředí Uniflex pomocí programovacího jazyka Ladder Diagram. V této kapitole jsou rozebrány zásadní funkce stroje pomocí vývojových diagramů nebo pomocí textu. Další kapitola se věnuje návrhu vizualizačního rozhraní také v prostředí Uniflex. V rámci vizualizačního rozhraní byly vytvořeny 3 jazykové mutace.

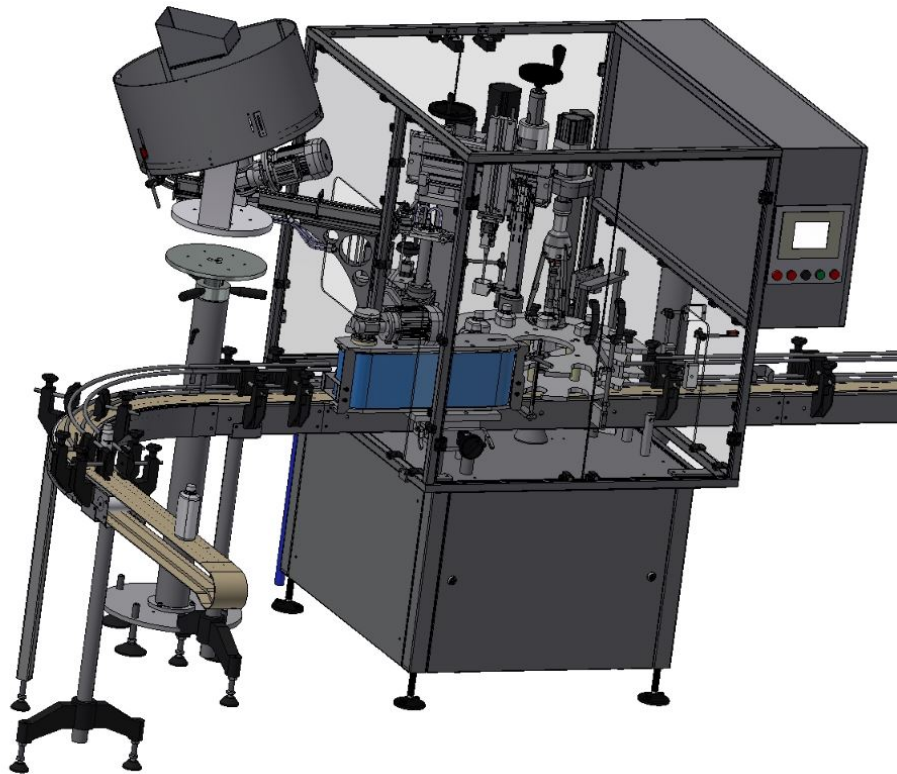
Osmá kapitola se zabývá problematikou testování stroje a jeho uvádění do provozu (commissioning), která zabrala největší množství času.

V poslední kapitole je uvedeno výsledné zhodnocení diplomové práce.

Kapitola 2

Rozbor konstrukce

Jednúčelový stroj pro uzavírání lahví bude součástí linky určené pro kosmetický průmysl. Před zavíracím strojem se bude nacházet plnicí zařízení typu Polaris 6FM, od kterého budou přijíždět naplněné láhve po pásovém dopravníku k zavíracímu stroji. Následně bude vykonána operace uzavírání láhve a poté bude uzavřená láhev poslána po dopravníku k dalšímu zpracování, které není zákazníkem blíže specifikováno.



Obrázek 2.1: Model jednúčelového stroje [2]

Základní funkční části zavíracího stroje lze rozdělit na přísun lahví, otočnou růžici, přísun víček, pick & place stanoviště, zavírací, kontrolní a vyřazovací stanoviště.

2.1 Formáty materiálu

Před rozbořem jednotlivých funkčních částí stroje je nejdříve nutné, pro bližší pochopení funkčních celků, probrat problematiku materiálu, který má být ve stroji zpracováván. V tomto případě se jedná o příjíždějící láhve a víčka. O zásobu lahví je v podstatě postaráno, o dostatečnou zásobu víček se musí starat operátor linky. Tento stroj je navrhnout na velkou škálu formátů lahví a víček. Jednoúčelový stroj umí zpracovávat láhve válcového tvaru s objemem 200 ml až po láhve specifický tvarů do objemu 600 ml. Široké je také portfolio víček, která mohou být šroubovací, otevírací nebo dávkovací s tubičkou. Typy víček jsou tvarově různé a také mohou být v různých plastových provedeních od průhledných typů až po černou barvu. Tato široká variabilita přináší spoustu formátových dílů, se kterými bude muset obsluha umět pracovat a které při oživování tohoto stroje přinesly spoustu nutných modifikací, které budou zmíněny v dalších kapitolách.

Tabulka 2.1: Základní formáty lahví

| Láhev | Objem | Výška | Šířka | Délka |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| - | <i>ml</i> | <i>cm</i> | <i>cm</i> | <i>cm</i> |
| B1 | 200 | 160,0 | 41,0 | 49,0 |
| B2 | 250 | 175,0 | 42,0 | 51,5 |
| B3 | 350 | 206,0 | 55,0 | 46,0 |
| B4 | 400 | 155,6 | 54,2 | 83,0 |
| B5 | 600 | 174,7 | 63,0 | 92,0 |

Tabulka 2.2: Základní formáty víček

| Víčko | Výška | Průměr | Tubička |
|-------|-----------|-----------|------------|
| - | <i>cm</i> | <i>cm</i> | - |
| VA | | 42,0 | <i>ano</i> |
| VB | | 30,9 | <i>ano</i> |
| VC | 24,0 | 30,8 | <i>ne</i> |
| VD | 25,9 | 40,5 | <i>ne</i> |
| VE | | 31,0 | <i>ano</i> |
| VF | 25,1 | 31,0 | <i>ne</i> |

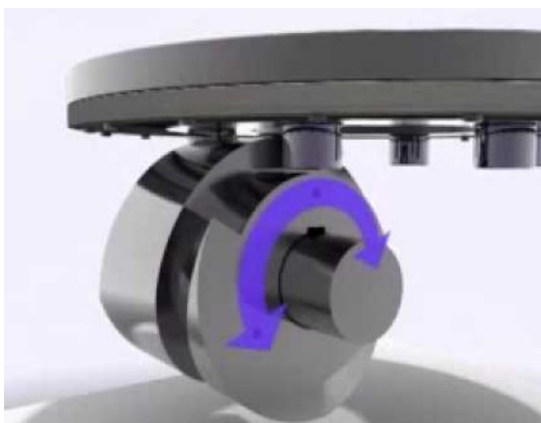


Obrázek 2.2: Vybrané formáty lahví od zákazníka [2]

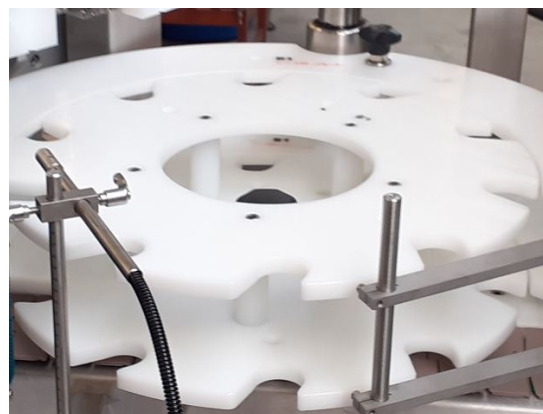
2.2 Kostrunkční části stroje

2.2.1 Otočná růžice

Otočná růžice představuje krokově rotační mechanismus, který přesouvá láhev z jednoho stanoviště na další po kruhové trajektorii. Růžice obsahuje celkem 10 otvorů, které jsou vůči sobě pootočený o 36° . Přesný pohyb růžice zajišťuje válcová vačka, která je ve svých drážkách mechanicky svázána s kruhovým talířem, ke kterému je připevněna růžice. Válcová vačka je připojena k hřídeli trojfázového asynchronního motoru. Jakmile se spustí motor, tak se začne otáčet válcová vačka, která po provedení jedné své otáčky posune kruhový talíř právě o 36° . Růžice je odjímatelná pomocí jednoho šroubu, protože pro každý formát láhve je vytvořena právě jedna růžice.



(a) Válcová vačka [12]



(b) Růžice stroje

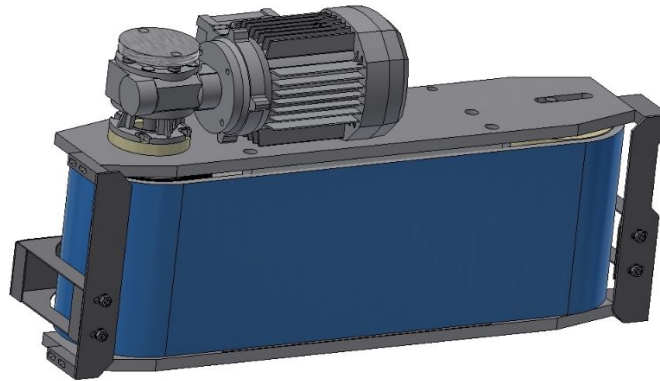
Obrázek 2.3: Krokově rotační mechanismus

2.2.2 Pásový dopravník

Pásový dopravník slouží k přepravě lahví. Na vstupní straně je dopravník spojen s dopravníkem plnicího zařízení typu Polaris 6FM a na výstupní straně je dopravník spojen s dopravníkem stroje třetí strany.

2.2.3 Boční pás

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu přísun naplněných lahví k zavíracímu stroji zabezpečuje dopravník plnicího zařízení, který předává naplněné láhve dopravníku zavíracího stroje. Jelikož naplněné láhve budou přijíždět nárazově po šesti kusech, tak před vstupem do růžice je nutné láhve rozřadit, tak aby přijížděly do útrob zavíracího stroje jednotlivě. Tuto oblast zabezpečuje boční pás, neboli wrap. Boční pás je vůči dopravníku v kolmé pozici a nachází se na jeho pravé straně. Na levé straně se nachází plechová deska. V závislosti na zvoleném formátu je možné pomocí mechanické regulace změnit vzdálenost mezi bočním pásem a plechovou deskou. Pokud je vzdálenost mezi těmito objekty správně nastavena, tak v případě vypnutého motoru bočního pásu nedochází k dávkování lahví do růžice. V případě aktivace asynchronního motoru dochází k orientaci a pouštění lahví podle aktuální potřeby do otočné růžice.



Obrázek 2.4: Boční pás [2]

2.2.4 Rotační orientátor

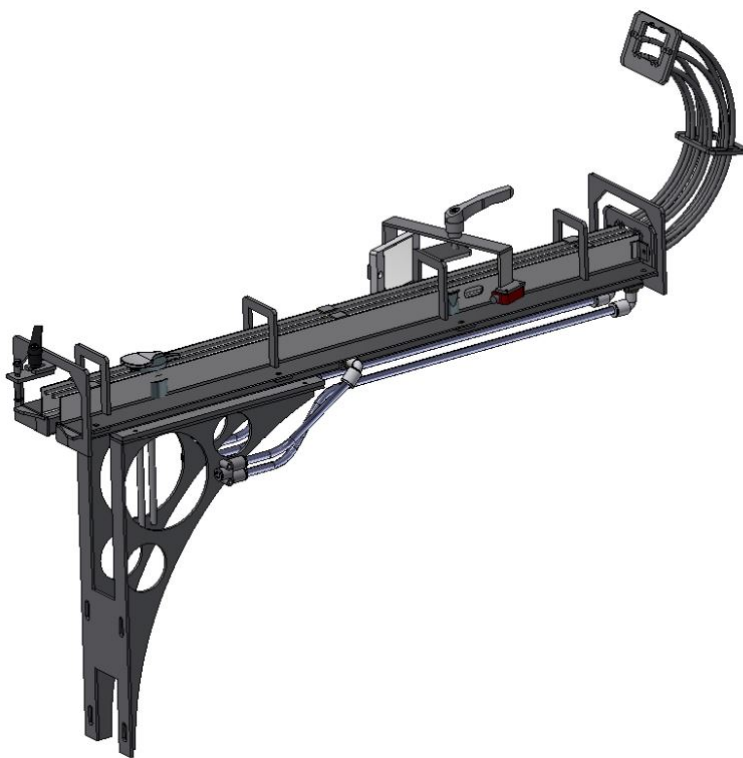
Rotační orientátor zabezpečuje správnou orientaci víček bez tubičky a je poháněn pomocí asynchronního motoru. V orientátoru se nachází drážky podobné růžici, do kterých víčko zapadne. Víčko následně projíždí skrze tři otvory o velikosti M6, do kterých proudí stlačený vzduch. Pokud je otočeno víčko při příjezdu k otvorům směrem nahoru (otvor míří na vrchní část víčka), tak se nemá stlačený vzduch kam uvolnit a dochází k vymrštění víčka pryč z drážky. V případě správné orientace se vzduch hromadí do vnitřní části víčka, ale dosažený tlak není dostatečně velký tak, aby došlo vyřazení víčka. Správně zorientované víčko následně putuje do dráhy.



Obrázek 2.5: Rotační orientátor [2]

2.2.5 Dráha víček

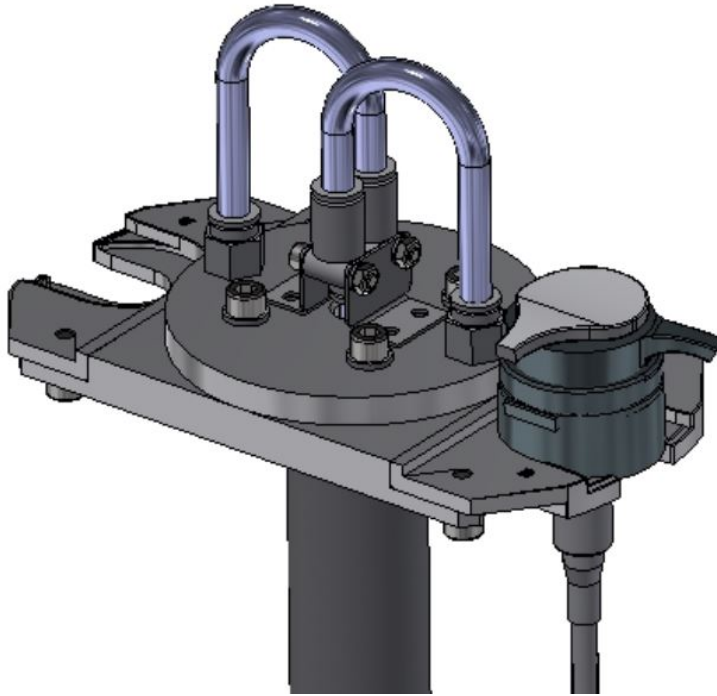
Dráha zabezpečuje přemístění víček bez tubičky od rotačního orientátoru směrem ke kyvnému pístu. V případě víček s tubičkou je použita jiná dráha, do které jsou víčka vkládána manuálně operátorem stroje. Víčka jsou posouvána v dráze pomocí stlačeného vzduchu.



Obrázek 2.6: Dráha víček [2]

2.2.6 Rozřazovací stanoviště

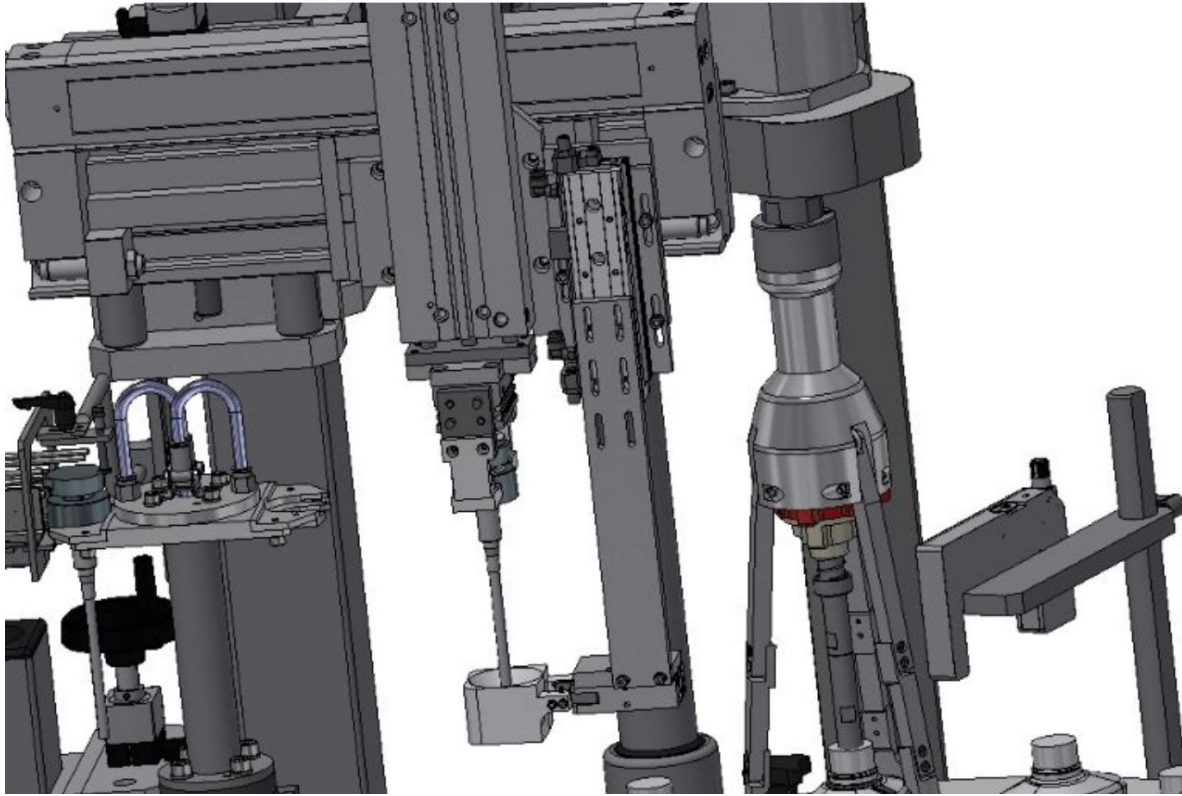
Rozřazovací stanoviště zprostředkovává přemístění víčka z dráhy ke stanovišti pick & place. Samotný přesun je realizován pomocí pneumatického kyvného pohonu, který má rozsah 180°. S kyvným pohonem je pomocí podstavce spojen rozřazovací stůl, na kterém se nachází dvě misky (A,B) pootočené vůči sobě o 180°. Misky jsou měnitelné v závislosti na konkrétním formátu. Jakmile se víčko z dráhy dostane do misky, tak může dojít k přemístění víčka ke stanovišti pick & place. Uvnitř misek je také otvor, který přisává víčko během provádění změny polohy kyvného pohonu.



Obrázek 2.7: Rozřazovací stanoviště [2]

2.2.7 Pick & place stanoviště

Pick & place stanoviště obsahuje celkem 5 pneumatických pístů. Jako hlavní píst této sestavy lze jednoznačně určit horizontální pneumatický píst, který mění horizontální pozici všech ostatních pneumatických pohonů sestavy. Tento píst zabezpečuje přemístění z rozřazovacího stanoviště nad láhev, která se nachází v růžici. K pístu je připevněn velký vertikální píst, který vykonává pohyb nahoru a dolů. Na konci tohoto pohonu je připojen kyvný pneumatický píst, který vykonává paralelní pohyb na obou svých stranách. Na koncích tohoto pístu se nachází formátově čelisti, které po aktivaci pneumatického ventilu sevřou víčko.

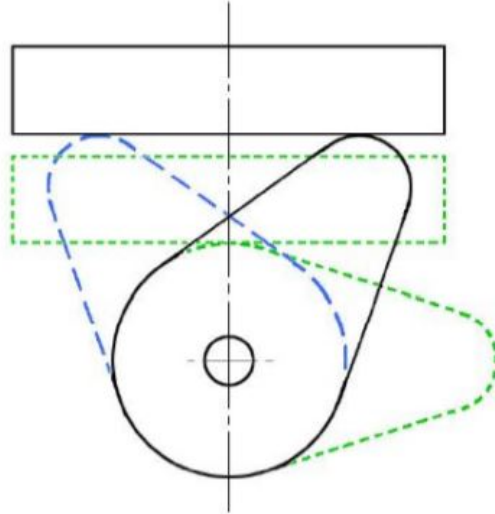


Obrázek 2.8: Pick & place stanoviště [2]

Poslední dva písty slouží pouze pro formáty víček s tubičkou. Malý vertikální píst zabezpečuje pohyb nahoru a dolů. Na konci tohoto pístu se nachází další paralelní svírací píst, který představuje středící mechanismus. Středící mechanismus v podstatě představuje dvě plastové součásti, ve kterých je vybrán materiál ve tvaru kužele s podstavou nahoře. Tubička víčka se sveze po hranách kužele. Čím víc se tubička posune více dolů, tím více se blíží ke středu tohoto kužele. Na konci je vytvořený otvor, který zabezpečí vklouznutí tubičky přes kritickou oblast do hrdla láhve.

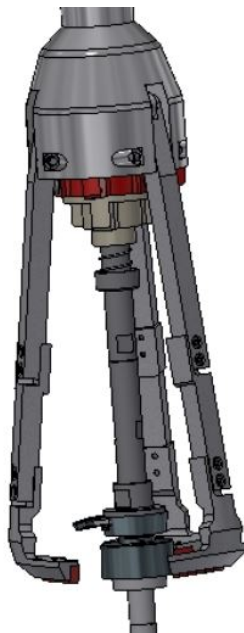
2.2.8 Zavírací stanoviště

Zavírací stanoviště vykonává proces zavírání víčka, které je umístěno na láhvi. Výška zavírací hlavy je ovládána pomocí zdvihací vačky, která je připojena na stejnou hřídel motoru jako válcová vačka. Tímto způsobem je vždy zaručena správná pozice růžice vůči zavírací hlavě. Jakmile je spuštěn trojfázový asynchronní motor, tak se zdvihací vačka uvede do pohybu. Jelikož vačka nemá kruhový charakter, tak zdvihací hlava mění svou polohu různou rychlostí. Zdvihací vačka zavíracího stroje je zakřivena tak, aby se v určitém rozsahu otáčení hřídele neměnila svou výšku. Základní princip zdvihací vačky je možné pozorovat na následujícím obrázku. Při otáčení vačky se mění pozice objektu (černý a zelený obdélník) směrem nahoru - dolů.



Obrázek 2.9: Princip zdvihací vačky [10]

Proces utahování víčka na láhvi je realizován pomocí zavírací hlavy. Pro utažení víčka na láhvi je nejdříve zapotřebí víčko pevně stisknout. Tento úkon je realizován pomocí zavírací hlavy, která obsahuje čelisti. Po aktivaci pneumatického pístu dochází k sevření čelistí, čímž je realizován stisk víčka. Zavírací hlava obsahuje ozubenou řemenici, která je spojena pomocí hnacího řemene s ozubeným kotoučem BLDC motoru. Při aktivaci BLDC motoru dochází k otáčení zavírací hlavy a tím pádem k procesu utahování víčka na láhvi.



Obrázek 2.10: Zavírací hlava [2]

K zavíracímu stanovišti také patří paralelní pneumatický píst umístěný těsně pod růžicí. Tento píst zabezpečuje pevné stisknutí láhve při procesu utahování.

2.2.9 Vysouvací stanoviště

Vysouvací stanoviště je poslední stanoviště související s otočnou růžicí. Toto stanoviště obstarává bezpečné vysunutí láhve z růžice pomocí pneumatického pístu.

2.3 Seznam požadavků

Na začátku projektu byly specifikovány následující požadavky:

- Stroj musí být schopen za hodinu uzavřít 2000 kusů lahví.
- Ovládací panel musí být v českém, anglickém a ruském jazyce.

Kapitola 3

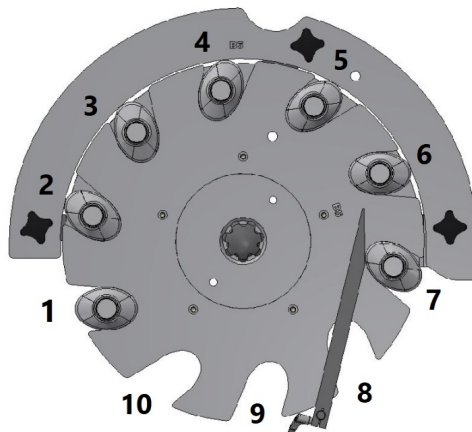
Funkční analýza činnosti stroje

3.1 Režimy stroje

Stroj může pracovat ve třech režimech. Jedná se o chod jednoho cyklu, automatický chod a manuální chod. V režimu jednoho cyklu po stisknutí tlačítka start dojde ke spuštění stroje a vykoná se jeden cyklus. V případě automatického chodu se vykoná n počet cyklů, dokud není stisknuto tlačítko stop. V manuálním režimu je možné ovládat výstupní elektrické a pneumatické prvky samostatně nebo po souvisejících skupinách.

3.2 Funkční analýza

Veškeré operace související s uzavíráním víčka na láhvi souvisí s otočnou rúžicí. Otočná rúžice má deset pozic a na jednotlivých pozicích se paralelně vykonávají operace, které jsou nezbytné pro správné uzavření víčka na láhvi. Pro vytvoření přehledné funkční analýzy stroje je nejdříve nutné si označit jednotlivé pozice. Pozice rúžice číslo k, bude v dalším textu zapisována jako **pr-k**.



Obrázek 3.1: Označení pozic rúžice [2]

Tabulka 3.1: Legenda pozic růžice

| Pozice | Stanoviště |
|--------|-----------------------------------|
| 1 | Vstup lahví do růžice |
| 2 | - |
| 3 | Nasazení víčka |
| 4 | Mechanické před šroubování víčka |
| 5 | Zavírací stanoviště |
| 6 | Kontrola správnosti utažení víčka |
| 7 | Vyřazovací stanoviště |
| 8 | - |
| 9 | - |
| 10 | - |

3.2.1 Přísun lahví do stroje

Na samotném začátku je nutné zabezpečit přísun lahví do útroh stroje. Přísun lahví je realizován pomocí dopravníku zavíracího stroje. Dopravník je ovládán dvupolohovým přepínačem. Pro spuštění stroje musí obsluha stisknout tlačítko start. Pokud se růžice nachází ve startovací poloze, tak dojde ke kontrole, zda se v pr-1 nachází láhev. V případě, že se v pr-1 nenachází láhev, tak dojde ke spuštění bočního pásu. Boční pás propustí jednu láhev do pr-1 a poté se zastaví. Jakmile je v pr-1 indikována láhev a v misce rozřazovacího stanoviště blíže k růžici (miska A) je víčko, tak dojde k přesunutí láhve do pr-2 spuštěním motoru růžice. Po otočení růžice o jednu pozici se v pr-1 nenachází láhev a v případě automatického chodu se cyklus přísunu lahví opakuje.

3.2.2 Přísun víček

V případě víček bez tubičky začíná přísun víček tím, že obsluha nasype víčka do rotačního orientátoru, který je následně posílá do dráhy víček. Zásoba víček v orientátoru je kontrolována pomocí optického snímače. Orientátor je aktivován jakmile se v dráze přestane nacházet dostatečná zásoba víček. V případě dostatečné zásoby orientátor neběží. Pomocí stlačeného vzduchu se víčka přesouvají k rozřazovacímu stanovišti. Pofuk je aktivován pouze v případě, že je kyvný pohon v poloze 0° nebo 180° a také za předpokladu, že se uvnitř misky rozřazovacího stanoviště již nenachází víčko.

U víček s tubičkou jsou víčka vkládána do dráhy manuálně operátorem výroby. Pofuk je aktivován za stejných podmínek jako v případě víček bez tubičky.

3.2.3 Rozřazovací stanoviště

Kyvný pohon se otočí za podmínek, kdy se v misce směrem k dráze nachází víčko a za předpokladu, že se horizontální píst nenachází v koncové poloze u rozřazovacího stanoviště. Při otočení pohonu je tedy nové víčko připraveno pro stanoviště pick & place. Kyvný pohon se může otočit pouze jednou

během jednoho cyklu. Během změny polohy kyvného pohonu je aktivováno sání víčka. Tímto způsobem je zamezeno negativním vlivům při změně polohy pohonu. V manuálním režimu může kyvný pohon měnit svou pozici za předpokladu, že se vertikální píst nachází nad pr-3 a není aktivován pofuk víček v dráze.

3.2.4 Nasazování víčka

Proces nasazování víčka začíná jakmile se spustí pohon otočné růžice. V tomto okamžiku dojde k uchopení víčka v misce kyvného pohonu pomocí sevření úchopné hlavice. Následuje přesunutí pneumatického hnízda směrem k růžici. Poté dojde ke stisku středícího mechanismu, který zabezpečuje středění tubičky víčka. Do této doby se růžice otáčí a posouvá láhve k dalšímu stanovišti směrem pr-k+1. Jakmile se růžice zastaví, tak se oba vertikální písty začnou pohybovat směrem dolů k pr-3. Jakmile se dostane tubička víčka do hrdla láhve, tak dojde k deaktivaci středícího mechanismu. Po dosažení spodní polohy vertikálního pístu dojde k deaktivaci úchopné hlavice. V tomto bodě se nachází již víčko na láhvi. V další části chodu stroje dojde k vyjetí dvou vertikálních pístu směrem nahoru. Nyní stroj čeká až bude připraveno víčko v misce B kyvného pohonu směrem k růžici. Jakmile je tohoto stavu dosaženo, tak se horizontální píst vrací do pozice k rozřazovacímu stanovišti. U víček, která neobsahují tubičky, je možné vypnout funkci středění hadičky.

V automatickém chodu se cyklus následně opakuje při příjezdu další láhve do pr-1. V manuálním režimu je možné ovládat písty samostatně. Jsou zde ovšem zavedeny podmínky, které zabraňují jakémukoliv poškození jednotlivých pístů v případě nedostatečně zaškolené obsluhy.

Pokud se před spuštěním stroje nenachází víčko v misce rozřazovacího stolu blíže k růžici, tak je možné víčko připravit v manuálním režimu pomocí příslušného tlačítka. Po stisknutí tlačítka dojde k přesunutí vertikálního pístu směrem k pr-3 a za předpokladu kapitoly **Přísun víček** dojde k otočení kyvného pohonu. Po otočení rozřazovacího stanoviště se vertikální pohon může přesunout zpět do pozice k rozřazování. Víčko je připraveno k použití.

3.2.5 Utahování víčka

Samotné utahování víčka je realizováno na pr-5 pomocí zavíracího stanoviště. Před tím, než se dostane láhev s víčkem na toto stanoviště, tak dojde k mechanickému předšroubování na pr-4 pomocí gumového pásku. Díky stanovišti pr-4 přijíždí víčko na pr-5 vždy ve správné poloze.

Celý proces utahování je realizován při běhu pohonu růžice. Jakmile sjíždí zavírací hlava po vačce směrem dolů, tak se aktivuje otáčení zavírací hlavy. Když se láhev s víčkem nachází v pr-5, a čelisti zavírací hlavy jsou ve výšce víčka, tak dojde ke stisknutí víčka pomocí sevření čelistí. Po sevření dojde k utahování víčka na předem definovaný moment. Následně dojde k otevření čelistí a zastavení otáčení zavírací hlavy. Jelikož se pohon růžice stále pohybuje, tak se zavírací hlava pomocí vačky pohybuje stále nahoru. Jakmile dojde k zastavení pohonu růžice, tak se zavírací hlava objeví v bezpečné výšce nad víčkem láhve u pr-5. Tímto je cyklus utahování víčka u konce.

Během sevřených čelistí zavírací hlavy je aktivní paralelní pneumatický píst. Funkci paralelního pneumatického pístu je možné vypnout na ovládacím panelu stroje.

3.2.6 Kontrola víčka na láhvi

Kontrola víčka se odehrává na pr-6. Na této pozici růžice se nachází analogový snímač, který hodnotí správnost zavření víčka. Pokud se na láhvi nenachází víčko nebo je víčko špatně uzavřeno, tak dochází k okamžitému zastavení stroje a zobrazení upozornění na HMI. Funkci kontroly víčka na láhvi je možné vypnout na ovládacím panelu stroje.

3.2.7 Vysunutí láhve z růžice

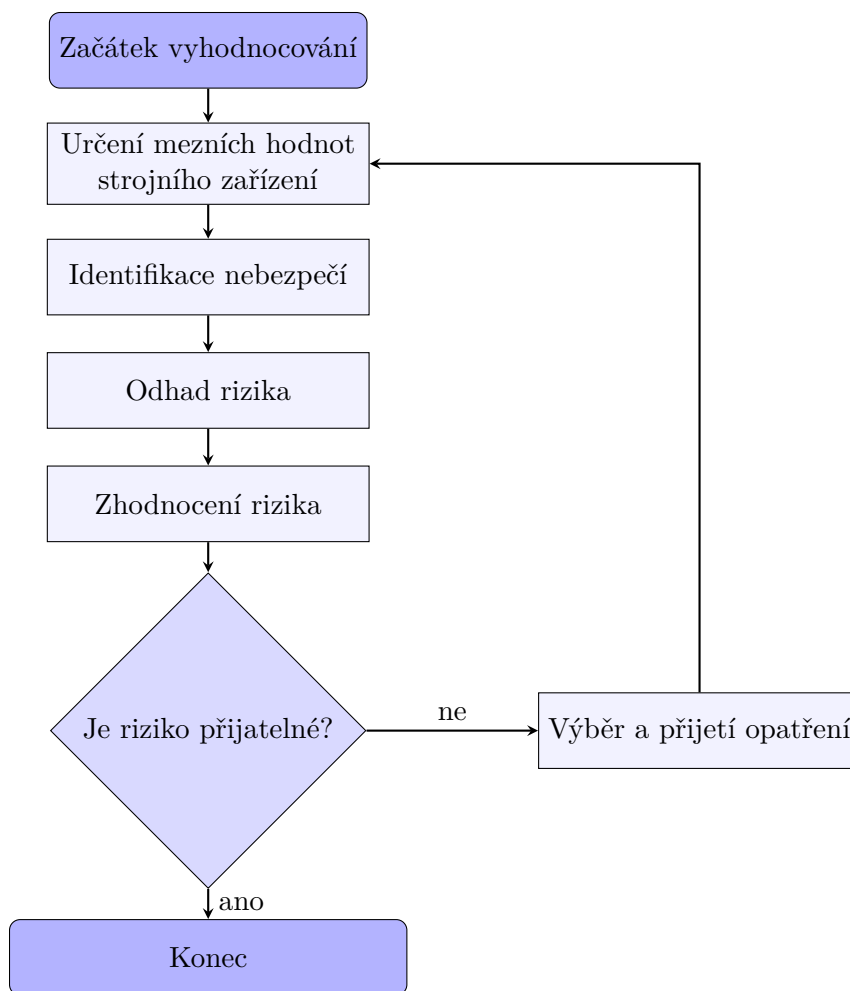
Jakmile se růžice přestane pohybovat, tak se na pr-7 aktivuje píst, který vysune láhev z růžice na výstupní část dopravníku. Odtud se láhve pohybují přes vyřazovací stanoviště až k dopravníku stroje zákazníka.

Kapitola 4

Analýza rizika a zajištění funkční bezpečnosti

Na vývoj a provozování strojního zařízení pro jakoukoliv oblast průmyslu je nutné se dívat ze dvou úhlů pohledu. Jednak je nutné zajistit správnou a efektivní funkci daného zařízení, aby bylo schopno plnit požadované úkoly. Neméně důležité je však také to, aby zařízení bylo schopné plnit své funkce bezpečně. Bezpečnosti je nutné věnovat zásadní pozornost při vývoji, konstrukci a provozování jakéhokoliv strojního zařízení [1].

Obecně lze analýzu rizika rozdělit na dvě části. Nejdříve je zapotřebí provést posouzení rizika a následně vyhodnocení rizika. Posuzování rizika strojního zařízení by nemělo být doménou pouze jednoho člověka, ale pro tento úkol by měl být sestaven tým lidí, kteří byli zapojeni do vývoje stroje. V týmu pro strojní zařízení rozebíraného typu se tedy může objevit jak strojní konstruktér, elektro konstruktér, tak pověřený člověk od zákazníka. Posouzení rizika by mělo zahrnovat rizika, která mohou nastat během celého životního cyklu stroje.



Obrázek 4.1: Postup při hodnocení rizika

4.1 Posouzení rizika

Do množiny posouzení rizika spadají body jako je určení mezních hodnot strojního zařízení, identifikace nebezpečí a odhad rizika.

4.1.1 Určení mezních hodnot strojního zařízení

První fází při posuzování rizika je určení mezních hodnot strojního zařízení. Cílem této fáze je důkladné pochopení vlastností stroje a jeho použití. Je důležité posuzovat všechny mezní hodnoty a fáze cyklu života strojního zařízení. Je nutné vymezit například provozní režimy stroje (včetně poruchových stavů), mezní hodnoty při instalaci a dopravě stroje, nebo při uvádění zařízení do provozu. Dalším důležitou informací je očekávaná míra zácvičku pro personál (obsluha stroje, technici,

široká veřejnost), nebo vliv na další osoby, které se můžou vyskytovat v blízkosti dodávaného stroje (personál přílehlých pracovišť). Dále je zapotřebí brát zřetel na rozsah pohybu stroje, údržbu (různé součásti podléhající opotřebení, kapaliny), na podmínky prostředí (teplota, prostředí s nebezpečím výbuchu, vlhkost). V neposlední řadě by mělo být také myšleno na bezpečnou likvidaci stroje [1] [6].

4.1.2 Identifikace nebezpečí

Po určení mezí strojního zařízení je základním krokem při posouzení rizika u každého stroje systematická identifikace rozumně předvídatelných nebezpečí (trvalá nebezpečí a taková, která se mohou vyskytnout neočekávaně), nebezpečných situací nebo nebezpečných událostí ve všech fázích životního cyklu stroje. Pouze tehdy, když jsou identifikována nebezpečí, mohou být přijaty kroky k jejich vyloučení nebo snížení. Konstruktor stroje musí identifikovat nebezpečí s přihlédnutím ke vzájemnému působení člověka a stroje (ve všech fázích životního cyklu) za předpokladu, že stroj ne-vykonává předpokládanou funkci. Výsledkem identifikace je ideálně seznam všech potenciálních nebezpečí [7].

4.1.3 Odhad rizika

Odhad rizika spočívá v klasifikaci, zda nebezpečné situace představují riziko (např. zranění obsluhy). U určitého nebezpečí může být riziko tak malé, že je možné jej tolerovat, u jiného nebezpečí může být riziko tak vysoké, že vyžaduje extrémní opatření. V této fázi je tedy nutné určitým způsobem kvantifikovat možné riziko. Je třeba brát v úvahu jak závažnost případné újmy (zranění, škoda apod.), tak pravděpodobnost výskytu takové události [1].

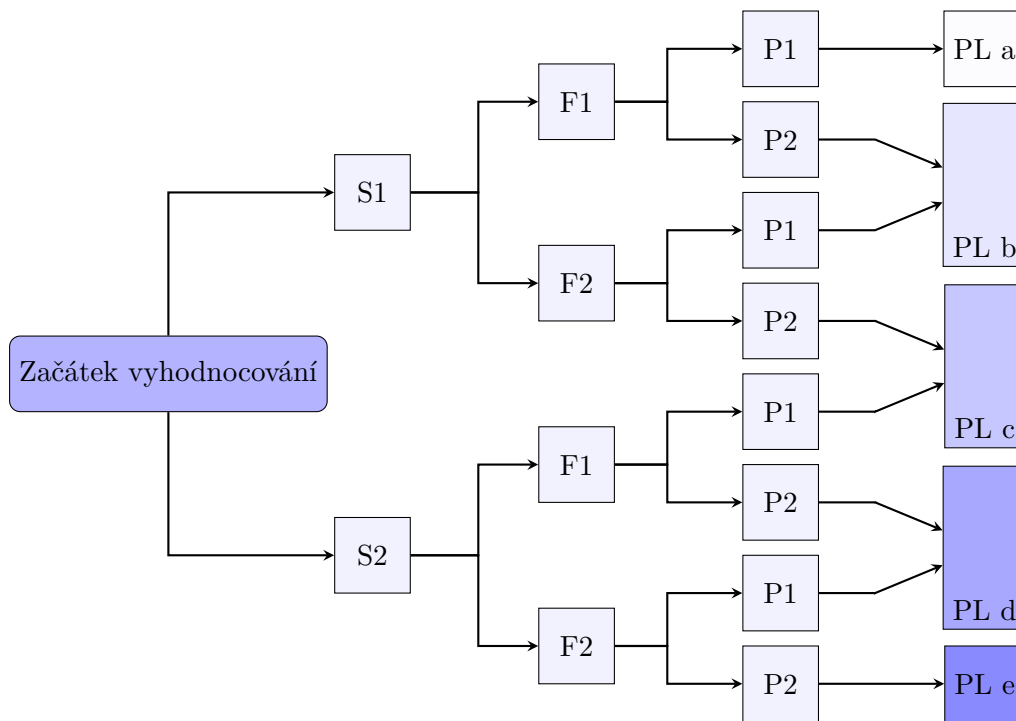
4.2 Zhodnocení rizika

Po provedení posouzení rizika přichází fáze zhodnocení rizika. Pokud je odhad rizika příliš vysoký, tak musí být zvolena a použita vhodná opatření. Po aplikaci příslušných opatření musí být provedeno opětovné posouzení rizika. Tento cyklus se neustále opakuje dokud nedosáhneme přijatelného rizika.

4.3 Posouzení rizika podle ČSN EN 13849-1

Pro postup posouzení rizika strojního zařízení byla zvolena metoda PL (Performance Level), která se může vztahovat na aplikaci bezpečnostních systémů elektrických, hydraulických, pneumatických a mechanických. Ve standardu ČSN EN ISO 13849-1 je integrita bezpečnosti systémů klasifikována pomocí pěti úrovní hodnoty PL [1]. Nejnižší riziko představuje úroveň PLa. Nejvyšší riziko představuje úroveň PLe.

V prvním kroku pro posouzení rizika je nejdříve zapotřebí identifikovat nebezpečí. Následně je možné pro každé nebezpečí odhadnout úroveň PL pomocí parametrů S (závažnost zranění), F (četnost vystavení nebezpečí), P (možnost vyhnout se nebezpečí). Závažnost zranění může nabývat hodnot S1 (lehké zranění s přechodnými následky), nebo S2 (vážné zranění s trvalými následky nebo smrt). Parametr F může nabývat hodnot F1 (četnost vystavení nebezpečí je krátká), nebo F2 (četnost vystavení nebezpečí je dlouhá). Poslední parametr P může nabývat hodnot P1 (možnost vyhnout se nebezpečí je možná), nebo P2 (téměř není možné vyhnout se nebezpečí). Po určení těchto parametrů se určí pro všechna identifikovaná nebezpečí úroveň PL dle následujícího obrázku. Nejhorší vyhodnocená úroveň PL následně odpovídá úrovni PL celého stroje.



Obrázek 4.2: Digram pro určení parametru PL

4.4 SRP/SC architektury podle ČSN EN 13849-1

Po stanovení úrovně PL je zapotřebí navrhnout správnou strukturu bezpečnostní části řídicího systému souvisejícího s bezpečností. Navrhované řešení se vždy liší v závislosti na konkrétní SRP/SC kategorii. Bezpečnostní obvody mohou být realizovány pomocí hardwarových komponentů nebo pomocí kombinace HW komponent a softwaru. Požadavky na kategorie SRP/SC a rozbor jednotlivých parametrů je zmíněn v dalším textu.

Tabulka 4.1: Požadavky na kategorie SRP/SC

| Kategorie | PL | $MTTF_d$ | DC | CCF |
|-----------|------|------------------------------|---------------|----------------|
| B | b | <i>krátké/střední</i> | <i>žádné</i> | – |
| 1 | c | <i>dlouhé</i> | <i>žádné</i> | – |
| 2 | d | <i>dlouhé</i> | <i>nízké</i> | <i>splnění</i> |
| 3 | e | <i>krátké/střední/dlouhé</i> | <i>nízké</i> | <i>splnění</i> |
| 4 | e | <i>dlouhé</i> | <i>vysoké</i> | <i>splnění</i> |

4.4.1 Střední doba do nebezpečné poruchy

$MTTF_d$ (Mean Time To Failure) je parametr udávaný výrobcí elektrických nebo pneumatických komponentů, který značí střední dobu do nebezpečné poruchy v jednotkách let. V podstatě se jedná o parametr, který statisticky udává, že po určité době dojde na bezpečnostním prvku k poruše. Rozsah doby je udáván ve třech kategoriích.

Tabulka 4.2: Kategorie střední doby do nebezpečné poruchy [3]

| Doba | <i>Rozsah doby</i> |
|---------|----------------------------|
| Krátká | $3 \geq MTTF_d < 10roků$ |
| Střední | $10 \geq MTTF_d < 30roků$ |
| Dlouhá | $30 \geq MTTF_d < 100roků$ |

4.4.2 Počet cyklů do 10% nebezpečných selhání

U zařízení jako jsou jistící prvky, stykače, tlačítka, atp., nelze jednoduše určit hodnotu $MTTF_d$ pomocí doby chodu zařízení, ale podle počtu sepnutí. Spínání jednotlivých prvků závisí na konkrétní aplikaci. Z tohoto důvodu udávají výrobci u těchto zařízení parametr B_{10d} , který udává počet cyklů (tj. sepnutí) do 10% nebezpečných selhání. Po znalosti četnosti spínání pro konkrétní aplikaci lze následně vypočítat parametr $MTTF_d$ pomocí následujícího vztahu:

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}} \quad (4.1)$$

kde parametr n_{op} představuje počet předpokládaných cyklů za rok.

4.4.3 Počet předpokládaných cyklů za rok

Parametr vypočítáme pomocí vztahu:

$$n_{op} = \frac{d_{op} * h_{op} * 3600}{t_{cykl}} \quad (4.2)$$

kde h_{op} je střední doba v provozu (hod/den), d_{op} je střední doba provozu (den/rok) t_{cykl} je střední doba mezi začátkem dvou po sobě následujících cyklech (s/cykl)

4.4.4 Diagnostické pokrytí

Diagnostické pokrytí DC (Diagnostic Coverage) je parametr popisující míru účinnosti technické diagnostiky systému. Může být určen jako podíl intenzity detekovaných nebezpečných poruch a intenzity všech poruch. Diagnostické pokrytí je určeno pro 4 úrovně [1].

Tabulka 4.3: Diagnostické pokrytí [3]

| Označení | Rozsah |
|----------|-----------------------|
| Žádné | $DC < 60\%$ |
| Nízké | $60\% \geq DC < 90\%$ |
| Střední | $90\% \geq DC < 99\%$ |
| Vysoké | $99\% \geq DC$ |

4.4.5 Porucha se společnou příčinou

Porucha se společnou příčinou CCF (Comon Cause Faulure) označuje poruchy více prvků, které jsou důsledkem jedné události [1]. Může se jednat například o vyhoření jednoho ze silových kontaktů na stykačích od stejného výrobce po určitém počtu sepnutí (výrobní vada). U redundantních SRP/SC systémů je proto vhodné použít v každém kanálu například výkonové prvky od různých výrobců.

4.4.6 Pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu

PFH_d (Probability of Failure per hour) je převrácenou hodnotou střední doby do nebezpečné poruchy. Platí tedy:

$$PFH_d = \frac{1}{MTTF_d * 365 * 24} \quad (4.3)$$

Jednotlivé úrovně PL jsou reprezentovány množinou číselných hodnot PFH_d . Hodnota PFH_d je důležitá při ověřování zda celková bezpečnostní architektura skutečně spadá do předem definované úrovně PL.

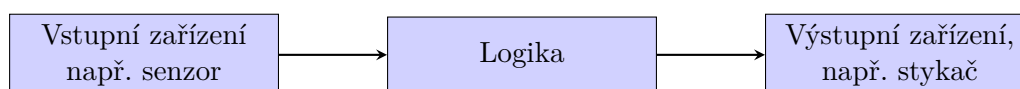
Tabulka 4.4: Úroveň vlastností PL [3]

| PL | PFH _d |
|----|-----------------------------------|
| - | $1/h$ |
| a | $\geq 10^{-5}$ až $< 10^{-4}$ |
| b | $\geq 3 * 10^{-6}$ až $< 10^{-5}$ |
| c | $\geq 10^{-6}$ až $< 3 * 10^{-6}$ |
| d | $\geq 10^{-7}$ až $< 10^{-6}$ |
| e | $\geq 10^{-8}$ až $< 10^{-7}$ |

4.5 Realizace bezpečnosti

Jednouúčelový stroj je sám o sobě velmi nebezpečný. Jelikož jsou nebezpečné části jednouúčelového stroje dostatečně okrytovány, spadá stroj do kategorie PLb. Kompletní posouzení rizika je součástí přílohy diplomové práce. Struktura bezpečnostního systému musí odpovídat minimálně kategorii B.

Pro bezpečnostní kategorii B musí být SRP/CS minimálně navrženy, konstruovány, vybrány, namontovány a kombinovány s příslušnými normami a při použití základních bezpečnostních zásad pro specifické použití tak, aby odolávaly spolehlivosti s ohledem ke kapacitě a četnosti vypínání, vlivu zpracovávaného materiálu, vnějším vlivům jako jsou mechanické vibrace, EMC a další. V systémech kategorie B není požadováno diagnostické pokrytí DC a MTTF_d každého kanálu může být krátká až střední. V těchto strukturách není nutné vyžadovat CCF. Maximální dosažitelná kategorie PL je PL = b. Požadavky na kategorii 1 jsou vůči kategorii B rozšířeny na použití již dříve osvědčených komponent. Dále musí být MTTF_d každého kanálu dlouhá. Maximální PL dosažitelná kategorií 1 je PL = c. [3].



Obrázek 4.3: Architektura SRP/SC pro kategorii B,1[3]

4.5.1 Komponenty pro zajištění funkční bezpečnosti

Pro řešení SRP/SC architektury byly zvoleny pouze hardwarově orientované prvky.

4.5.1.1 Vstupní zařízení

4.5.1.1.1 Bezpečnostní dveřní spínač Ačkoliv jsou nebezpečné části stroje zakrytovány, tak mohou nastat situace, kdy se bude muset dostat operátor výroby nebo servisní technik do vnitřních

částí stroje. Kryty v podstatě představují plastové dveře, které je pro tyto případy možné otevřít. Aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost při otevření, tak jsou každé dveře vybaveny koncovými spínači, které indikují zda jsou bezpečnostní kryty otevřeny/zavřeny. V případě otevření krytů musí správně zareagovat logická část SRP/SC architektury. Pro jednoúčelový stroj byl vybrán bezpečnostní dveřní spínač HS5D of firmy IDEC a klíč HS9Z k dveřním spínačům. Počet cyklů do 10% nebezpečných selhání je $2 \cdot 10^6$.



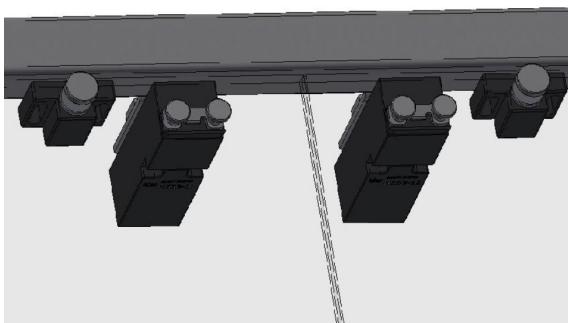
(a) Spínač HS5D [15]



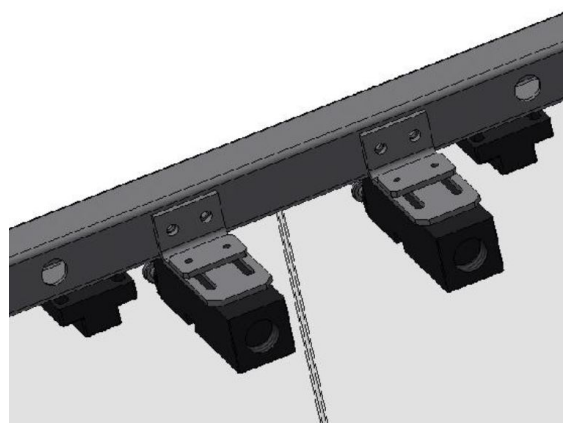
(b) Klíč HS9Z [15]

Obrázek 4.4: Bezpečnostní dveřní spínač a klíč

Bezpečnostní snímače se nachází v horním rámu zavíracího stroje. Kabeláž je tažena vnitřní částí rámu stroje.



(a) Pohled na přední část stroje [2]



(b) Pohled ze vnitř stroje [2]

Obrázek 4.5: Bezpečnostní dveřní spínače na stroji

4.5.1.1.2 Tlačítko nouzového zastavení se bude používat pro nouzové zastavení stroje operátorem výroby. Jedno tlačítko se bude nacházet u vstupního dopravníku a druhé se bude nacházet pod ovládacím panelem stroje. Byl vybrán prvek XB4BT845 od firmy Schneider electric. Ovladač obsahuje 1NC a 1NO kontakt. Počet cyklů do 10% nebezpečných selhání je $1 \cdot 10^6$.



Obrázek 4.6: Tlačítko nouzového zastavení [16]

4.5.1.2 Logika

Pro monitorování bezpečnostní funkce stroje bylo vybráno bezpečnostní relé AD SRE4 od firmy REER. Relé je možné použít jako dvoukanálové a má tři bezpečnostní kontakty + 1NC kontakt, který je možné použít pro napětové rozsahy 230 VAC nebo 24 VDC při maximálním proudu 5 A. Relé je certifikováno do bezpečnostní kategorie 4. Hodnota PL odpovídá hodnotě "e".



Obrázek 4.7: Bezpečnostní relé REER-AD SRE4 [15]

4.5.1.3 Výstupní zařízení

4.5.1.3.1 Výkonový stykač Pro bezpečné neřízené zastavení pohyblivých částí stroje napájených elektrickou energií (elektrické motory řízené frekvenčními měniči) byl vybrán výkonový stykač

LC1D18B7 od firmy Schneider Electric, který je dimenzován na jmenovitý proud 18 A. B_{10d} u stykače odpovídá hodnotě 1369863. Maximální možný počet cyklů za hodinu může činit 3600 při teplotě 60°C.



Obrázek 4.8: Výkonový stykač LC1D18B7 [16]

4.5.1.3.2 Pneumatický ventil Pro bezpečné zastavení pohyblivých částí stroje napájených fluidní energií byl vybrán ventil SY9220-5Y0-03F-Q od firmy SMC. Jedná se o ventil typu 5/2. Pro prvky řady SY9000 je udávaná hodnota počtu cyklů do 10% nebezpečných selhání: $94 \cdot 10^6$.

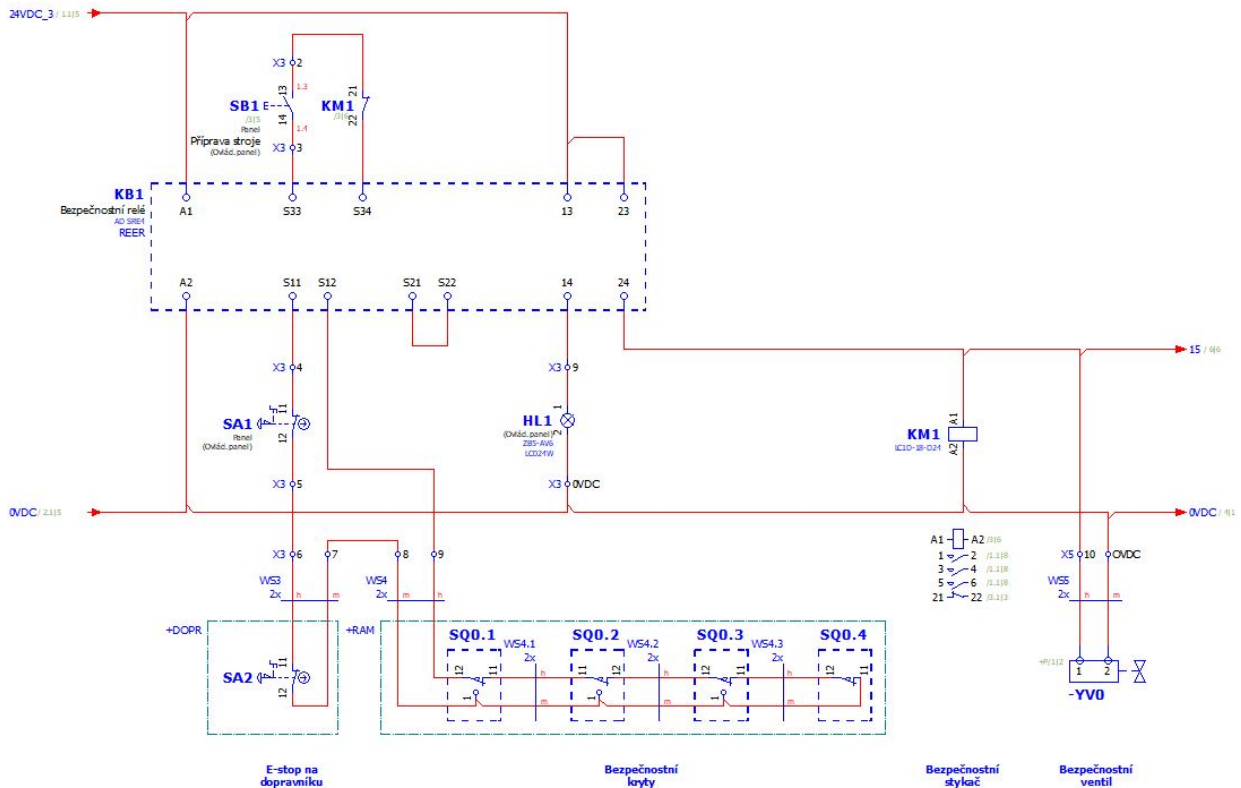


Obrázek 4.9: Pneumatický ventil SY9220-5Y0-03F-Q [17]

4.5.1.3.3 Signalizační maják Není funkční částí SRP/SC systému, ale slouží pouze pro vyhodnocování stavu stroje. Pro jednoúčelový stroj byl použit maják s kombinací barev - rudá, žlutá, zelená.

4.5.2 Realizace SRP/SC systému

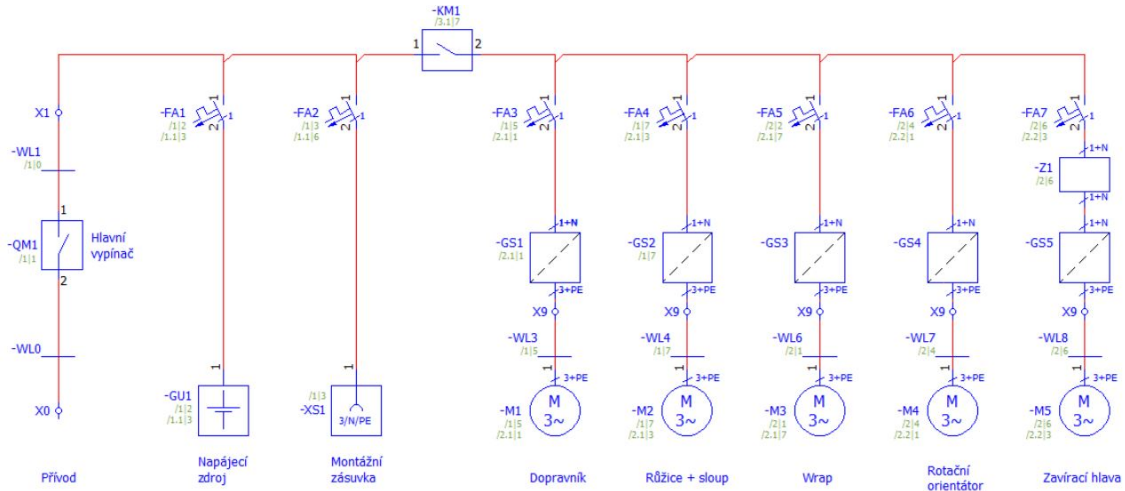
SRP/SC systém na následujícím obrázku je realizován pouze jednocanálově. V prvním kanálu mezi svorkami S11 a S12 bezpečnostního relé jsou sériově zapojeny dvě tlačítka E-stop a čtyři bezpečnostní snímače. U všech zmíněných prvků je využito kontaktů NC. Pro případ jednocanálového řešení je mezi kontakty druhého kanálu S21, S22 umístěn pouze propojovací vodič. Na kontakty S33 a S44 je umístěno tlačítko -SB3, které obsahuje NO kontakt a slouží pro aktivaci bezpečnostní funkce. V případě, že není stisknuto žádné tlačítko E-stop a kryty jsou uzavřeny, může dojít k aktivaci bezpečnostní funkce stroje. Po aktivaci dochází k sepnutí cívky výkonového stykače a pneumatického ventilu. V případě otevření krytů nebo stisknutí tlačítka E-stop dojde k vypnutí pomocných kontaktů bezpečnostního relé, což způsobí vypnutí stykače a pneumatického ventilu. Po každém zapnutí stroje musí operátor výroby znovu aktivovat SRP/SC systém.



Obrázek 4.10: Realizace SRP/SC systému.

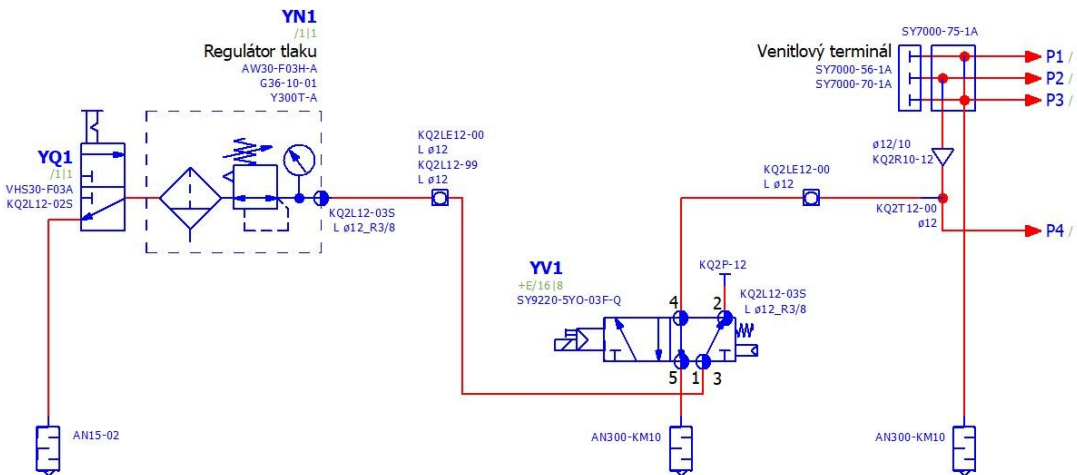
V případě deaktivace SRP/SC dochází k vypnutí cívky stykače a tudíž k vypnutí silových kontaktů, kterými je zabezpečeno neřízené vypnutí kategorie 0. Jedná se tedy o odstavení výkonového napájení frekvenčních měničů ovládajících motory s pohyblivými částmi stroje. Tato možnost byla zvolena, jelikož se v technologii nenachází pohony většího výkonu než je 1,5 kW. Na následující-

cím jedno-pólovém schématu je možné pozorovat, které části obvodů jsou deaktivovány po vypnutí stykače.



Obrázek 4.11: Realizace bezpečnosti elektrických obvodů - jednopólové schéma

Analogicky k elektrickému obvodu dochází stejným způsobem k vypnutí přívodu vzduchu u ventilového terminálu pomocí předřazeného ventilu **-YV0** dle následujícího pneumatického schématu. Jelikož by po odstavení vzduchu mohlo dojít k nežádoucím pohybům, tak byly u pohyblivých částí zvoleny uzamykatelné pneumatické ventily 5/3, které pomocí uzamčení vzduchu v okruzích pneumatických pístů znemožní potenciální nežádoucí pohyb.



Obrázek 4.12: Realizace bezpečnosti fluidních obvodů

4.5.3 Ověření bezpečnostní architektury

Pro ověření správně zvolených prvků bylo nutné provést kompletní výpočet celkové pravděpodobnosti nebezpečné poruchy za hodinu. Jelikož je u spousty prvků udáván parametr \mathbf{B}_{10d} , tak bylo v první řadě zapotřebí určit počet předpokládaných cyklů za rok n_{op} . Jelikož bude stroj pracovat ve dvousměnném provozu, tak byla hodnota \mathbf{h}_{op} střední doby v provozu zvolena na 16 hodin za den. Dále bylo stanoveno, že stroj bude pracovat 313 dní v roce. Střední doba mezi začátkem dvou po sobě jdoucích cyklech byla stanovena na 3600 sekund. Poté lze vypočíst počet předpokládaných cyklů za rok podle následujícího vztahu:

$$n_{op} = \frac{d_{op} * h_{op} * 3600}{t_{cykl}} = \frac{16 * 313 * 3600}{3600} = 5008 \text{cykl} * \text{rok}^{-1} \quad (4.4)$$

Pro komponenty, u kterých byl udáván parametr \mathbf{B}_{10d} , byly vypočteny parametry $MTTF_d$ a PFH_d následovně:

- Bezpečnostní dveřní spínač

$$MTTF_{d1} = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}} = \frac{2 * 10^6}{0,1 * 5008} = 3994 \text{let} \quad (4.5)$$

$$PFH_{d1} = \frac{1}{MTTF_{d1} * 365 * 24} = \frac{1}{3994 * 365 * 24} = 2,85 * 10^{-8} \frac{1}{h} \quad (4.6)$$

- Tlačítko nouzového zastavení

$$MTTF_{d2} = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}} = \frac{1 * 10^6}{0,1 * 5008} = 1997 \text{let} \quad (4.7)$$

$$PFH_{d2} = \frac{1}{MTTF_{d2} * 365 * 24} = \frac{1}{1997 * 365 * 24} = 5,71 * 10^{-8} \frac{1}{h} \quad (4.8)$$

- Výkonový stykač

$$MTTF_{d3} = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}} = \frac{1369863}{0,1 * 5008} = 2735 \text{let} \quad (4.9)$$

$$PFH_{d3} = \frac{1}{MTTF_{d3} * 365 * 24} = \frac{1}{2735 * 365 * 24} = 4,17 * 10^{-8} \frac{1}{h} \quad (4.10)$$

- Pneumatický ventil

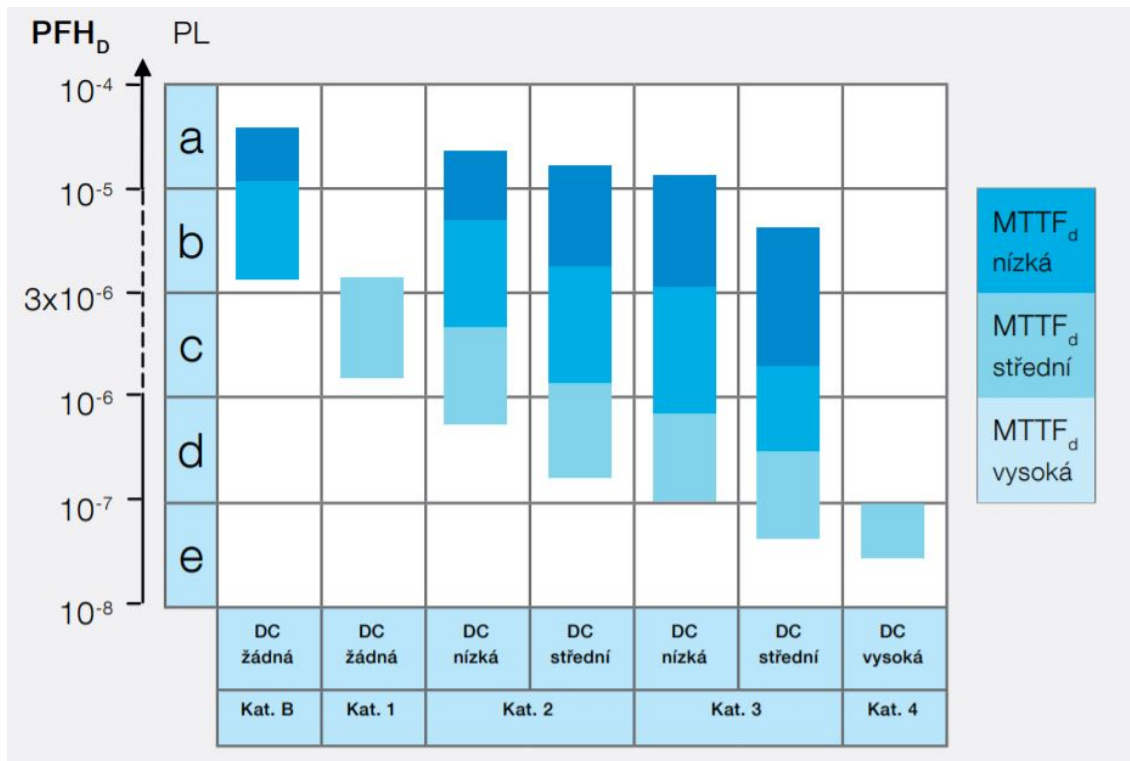
$$MTTF_{d4} = \frac{B_{10d}}{0,1 * n_{op}} = \frac{94 * 10^6}{0,1 * 5008} = 187699 \text{let} \quad (4.11)$$

$$PFH_{d4} = \frac{1}{MTTF_{d4} * 365 * 24} = \frac{1}{187699 * 365 * 24} = 6,08 * 10^{-10} \frac{1}{h} \quad (4.12)$$

U vstupních prvků není udávána hodnota diagnostického pokrytí, proto je předpokládáno, že DC spadá do kategorie žádná. V obvodu se nachází čtyři koncové spínače a dvě tlačítka nouzového zastavení. Celková hodnota $MTTF_{dVST}$ vstupních zařízení se vypočte podle vztahu:

$$MTTF_{dVST} = \frac{1}{\frac{4}{MTTF_{d1}} + \frac{2}{MTTF_{d2}}} = 499let \quad (4.13)$$

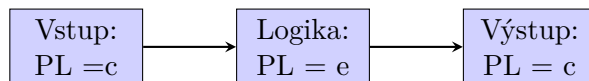
Z výpočtu je zřejmé, že výsledné $MTTF_{dVST}$ spadá do kategorie dlouhá (vysoká). Jelikož navržené schéma zapojení SRP/SC systému vyhovuje bezpečnostní kategorii 1, tak z následujícího obrázku lze stanovit, že bezpečnostní funkce vstupních zařízení spadá do úrovně $PL = c$.



Obrázek 4.13: Vztah mezi kategoriemi DC, $MTTF_d$ a PL [4]

Bezpečnostní relé spadá do bezpečnostní úrovně $PL = e$. Výstupní zařízení SRP/SC systému jsou na sobě nezávislá a proto byla vyhodnocována samostatně. U výkonového stykače a pneumatického ventilu spadá hodnota $MTTF_d$ do kategorie dlouhá (vysoké). Diagnostické pokrytí u těchto prvků není zmíněno - předpokládá se kategorie žádná. Z předchozího obrázku bylo určeno, že výstupní prvky spadají do bezpečnostní úrovně $PL = c$.

Výsledné hodnoty PL pro každý blok jsou shrnuty na následujícím obrázku. Hodnota PL celého kombinovaného systému vykonávající bezpečnostní funkci byla stanovena podle nejnižší úrovně hodnoty PL jednotlivých bloků na $PL = c$.



Obrázek 4.14: Úrovně PL jednotlivých bloků

Navržený SRP/SC systém splňuje požadavek na $PL = b$ podle analýzy rizika. SRP/SC architektura je navržena podle bezpečnostní kategorie 1. Celkové PFH_d odpovídá rozmezí 10^{-6} až $3 \cdot 10^{-6}$.

Kapitola 5

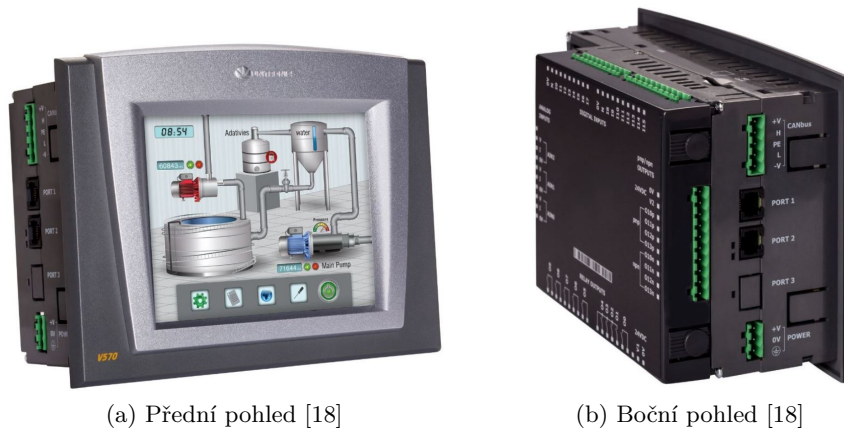
Návrh hardwarové části stroje

5.1 Popis HW komponent

V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé komponenty jako jsou snímače a řídicí prvky. Dimenzování elektrických a pneumatických pohonů zajišťoval strojní konstruktér stroje, proto bude tato problematika zmíněna pouze okrajově. V popisu se také nevyskytuje popis jisticích a ovládacích prvků, napájecích zdrojů, regulátorů tlaku, spínacích prvků a dalšího příslušenství, kde se předpokládá všeobecná znalost.

5.1.1 PLC

Jako řídicí prvek bylo vybráno PLC V570-57-T20B od firmy Unitronics. Jedná se all-in-one PLC s integrovaným HMI. Na tuto jednotku je připojen ethernetový modul V200-19-ET2 a snap-in modul V200-18-E2B s I/O piny. K PLC jsou připojeny další expanzní karty, které jsou umístěny na DIN liště v rozváděči stroje.



Obrázek 5.1: Programovatelný automat V570-57-T20B

Kompletní seznam všech I/O PLC konfigurace je zmíněn v následující tabulce:

Tabulka 5.1: Konfigurace PLC

| Označení | DI | AI | RO | TO | AO | Poznámka |
|---------------|----|----|----|----|----|------------------|
| V570-57-T20B | | | | | | <i>PLC + HMI</i> |
| V200-19-ET2 | | | | | | <i>Eth.modul</i> |
| V200-18-E2B | 16 | 2 | 10 | | 2 | |
| EX-D16A3-TO16 | 16 | 3 | | 16 | | |
| IO-D16A3-TO16 | 16 | 3 | | 16 | | |
| IO-AO6X | | | | | 6 | |
| Součet | 48 | 8 | 10 | 32 | 8 | |

5.1.2 VFD

5.1.2.1 VFD řady FUJI

Pro střídavé trojfázové motory byly využity jednofázové nepřímé měniče napájené napětím 230 VAC. Měnič mění vstupní síťové napětí na regulované výstupní napětí s proměnnou frekvencí. Toho lze dosáhnout pomocí kombinace usměrňovač - meziobvod- střídač. Na vstupní části usměrňovače se usměrní napájecí síťové napětí na stejnosměrné napětí do meziobvodu. Stejnosměrný meziobvod tvoří vstupní filtr napěťového střídače. Meziobvod vyhlazuje výstupní napětí usměrňovače a umožňuje výměnu jalové energie mezi meziobvodem a motorem. Výstupní část je tvořena střídačem, ze kterého je odebíráno výstupní střídavé napětí s proměnnou frekvencí, kterým je napájen assynchrónní motor [5]. Pro motory byly využity VFD řady FRENIC od firmy FUJI.



Obrázek 5.2: Frekvenční měnič řady FRENIC od firmy FUJI [19]

Měniče obsahují 5DI, 2AI, 1DO, 3RO a 1AO. Řízení VFD je realizováno pomocí skalárního řízení, kde se předpokládá dodržení podmínky $U/f = \text{konst.}$ Měniče obsahují zabudovaný EMC filtr pro zabránění zkreslení napájecí sítě. Parametrizování měniče je možné realizovat přes ovládací panel VFD nebo pomocí počítačového SW. Pro motory **-MA1** až **-MA4** byly použity následující typy měničů. Jednotlivé měniče mají stejnou hloubku a liší se pouze šířkou a výškou:

Tabulka 5.2: Použité měniče řady FRENIC

| Ozn.motoru | Výkon kW | Frekv.měnič |
|------------|-------------|----------------|
| - | | |
| -MA1 | 0,55 | FRN006C2E – 7E |
| -MA2 | 0,75 | FRN006C2E – 7E |
| -MA3 | 0,18 | FRN002C2E – 7E |
| -MA4 | 0,18 | FRN002C2E – 7E |

5.1.2.2 VFD pro bezkartáčový motor

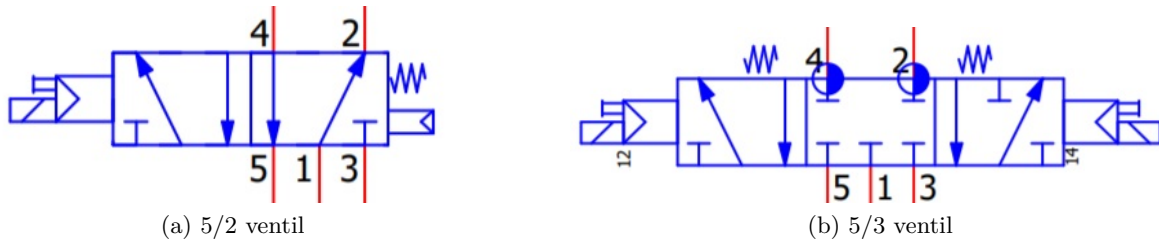
Jelikož je u zavírací hlavy zapotřebí regulovat rychlost otáčení a moment, tak byl jako pohon zavírací hlavy zvolen bezkartáčový (brushless) motor. Pro řízení motoru bylo nutné zvolit frekvenční měnič, který splňoval požadavky na řízení. Byl vybrán frekvenční měnič 2R7-BLDC-STD-A-R od firmy HPB MOTION CONTROL. VFD obsahuje 6DI, 2AI, 2DO a vstupní piny pro Endcoder, který je součástí motoru BL85E. Pomocí frekvenčního měniče lze nastavovat souběžně rychlost otáčení a moment zavírací hlavy, což je nezbytným parametrem pro správnou funkci utahování víčka na láhvi. Frekvenční měnič neobsahuje vstupní EMC filtr. Z toho důvodu je před vstupní svorky VFD a napájecí napětí vřazen EMC Filtr FS 21558-17-01. Filtr lze v rámci úspory místa umístit pod samotný VFD. Parametrizování VFD se provádí pomocí ovládacího terminálu umístěného na frekvenčním měniči.



Obrázek 5.3: Frekvenční měnič 2R7-BLDC-STD-A-R [8]

5.1.3 Pneumatické ventily

Pro ovládání pneumatických pohonů byly použity pneumatické ventily řady SY7000 od firmy SMC typů 5/2 a 5/3. Ventily slouží pro řízení směru proudu vzduchu (zavírání/otevírání pneumatického okruhu). Zmíněné dva typy se následně dělí na další podmnožiny typů se stejnou funkcí, kde je ovšem na každý ventil kladen jiný požadavek na spotřebu vzduchu.



Obrázek 5.4: Schématické značky vybraných pneumatických ventilů

5.1.3.1 5/2 ventil

Jedná se o pěticestný elektromagnetický ventil, který má dvě polohy. Pokud není přivedeno na ventil ovládací napětí 24 VDC, tak se ventil nachází ve výchozí pozici. Pokud je na vstup č.1 pneumatického ventilu přiveden vzduch, tak se tato energie objeví na výstupu č.2. Skrze vstup č.4 se může v tomto stavu vracet vzduch zpět na výstup č.5. Jakmile se na ventil přivede ovládací napětí, tak se změní pozice a přivedený vzduch se objeví na výstupu č.4. Skrze vstup č.2 se může v tomto stavu vracet vzduch zpět na výstup č.3. Pokud ventil přestane být napájen ovládacím napětím, tak se pomocí vratné pružiny vrátí ventil zpět do výchozí pozice. Ventil 5/2 je možné použít pro více funkcí, které souvisí s konkrétním zapojením pneumatické části obvodu.

5.1.3.2 5/3 ventil

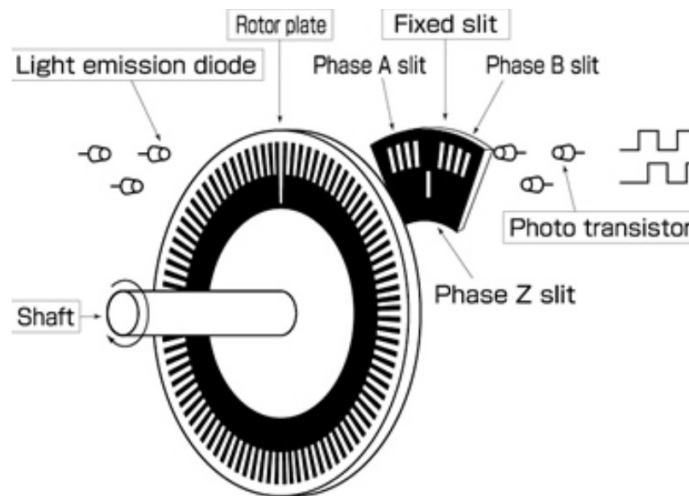
Jedná se o pěticestný uzamykatelný elektromagnetický ventil, který má 3 pozice. Ventil obsahuje dvě elektromagnetické cívky. V případě, že dojde k sepnutí cívky 1, tak se aktivuje pozice pístu analogická s výchozí pozicí pístu 5/2. Pokud dojde k sepnutí cívky 2, tak se aktivuje pozice pístu analogická s aktivní pozicí pístu 5/2. Pokud není žádná cívka aktivní, tak je pneumatický ventil ve stavu uzamčeno. Tato vlastnost je výhodná v případě pneumatických pohonů, kde po odstavení napájecího napětí elektromagnetických cívek dojde k uzavření okruhu mezi ventilem a pneumatickým pístem, čímž se zablokuje možnost pohybu s pístem. Při tomto stavu dojde k uzamčení vzduchu v pneumatickém okruhu mezi výstupy 4,2. Nemožnost pohybu s pohony je aktivní dokud nedojde k opětovnému sepnutí jedné ze dvou elektromagnetických cívek ventilu 5/3.

5.1.4 Inkrementální senzor

Jelikož je nutné znát po celou dobu operačního cyklu stroje přesnou polohu otočné růžice, tak bylo zapotřebí na hřídel motoru **-MA2** připojit inkrementální (čítací) senzor. Inkrementální senzor se skládá z mezikruží s pravidelně se střídajícími průhlednými a neprůhlednými ryskami. Do mezikruží je pomocí LED diod vysíláno světlo. Na druhé straně mezikruží se nachází fototranzistory, které přijímají vysílané světlo. Jsou-li v zákrytu průhledné rysky pohyblivého kotouče a průhledné rysky segmentu pevného maskovacího kotouče, dopadá na fototranzistor maximální světelný tok. V případě, že jsou v zákrytu průhledné rysky pohyblivého kotouče a neprůhledné rysky segmentu nepohyblivého kotouče, světlo neprochází a světelný tok na fotosenzoru je minimální. Výstupním signálem je kvazi-sinusový signál, který je komparátorem převeden na obdelníkový průběh. Jelikož je také zapotřebí rozlišit smysl otáčení hřídele, musí být maskovací kotouč senzoru polohy opatřen druhým segmentem s ryskami posunutými vůči ryskám prvního segmentu o úhel kde n je počet rysek na otáčku a k je celé číslo[11].

$$\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) * \frac{2\pi}{n} \quad (5.1)$$

K tomuto segmentu přísluší druhý fotosenzor snímající fázově posunutý světelný tok. Signál z prvního fotosenzoru se označuje **A** a signál z druhého fotosenzoru **B**. Výstupem jsou kvadraturní signály A,B, které jsou vůči sobě posunuty právě o 90° . Detekováním změny fáze těchto dvou signálů je možné získat informace o směru otáčení hřídele motoru [11].



Obrázek 5.5: Princip inkrementálního senzoru [9]

Pro řešení byl vybrán inkrementální snímač IG128-24-H od firmy Lenze. Inkrementální snímač je napájen napětím 24VDC a obsahuje signály A,B a negované signály A,B pro možnost eliminace rušení na kabelu v jednotlivých kanálech. Rozlišení snímače je 1024 impulsů na jednu otáčku enkoderu.

5.1.5 Analogový snímač Leuze GS754

CCD snímač GS754 byl využíván pro detekci stavu, zda je víčko na láhvi správně utaženo, nebo pro indikaci stavu - víčko se nenachází na láhvi. Snímač je možné napájet napětím 10-30 VDC. Obsahuje napěťový a proudový analogový výstup. Čidlo má také výstup pro RS232, RS422. Pracovní rozsah čidla je 25 mm. Připojení k senzoru je realizováno pomocí pěti-pinového konektoru.



Obrázek 5.6: Analogový snímač Leuze GS 754B [20]

5.1.6 Binární senzory

Veškeré binární senzory jsou napájeny napětím 24 VDC.

5.1.6.1 Magnetický snímač DA-93

V použitých pneumatických pohonech je umístěn magnet, který mění svou polohu v závislosti na poloze pneumatického pístu. Magnetický snímač tedy slouží pro detekci polohy pístu. Snímače řady DA-93 od firmy SMC se umísťují do předem připravených štěrbin jednotlivých pístů. V závislosti na umístění snímače ve štěrbině pohonu je možné identifikovat nejen koncové stavy, ale také stavy "v mezi poloze".

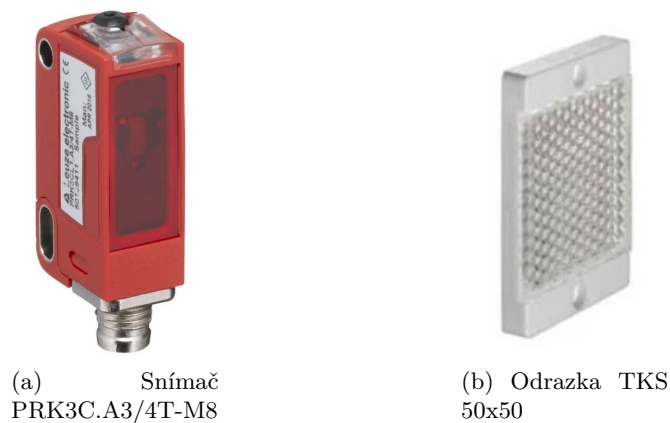


Obrázek 5.7: Magnetický snímač DA-93 [14]

5.1.6.2 Optický reflexní snímač PRK3C.A3/4T-M8

Optický reflexní snímač je využíván pro indikaci víček v orientátoru víček, v dráze víček, indikaci láhve na výstupu dopravníku a pro indikaci láhve při vyřazování. Obecně je snímač použit tam,

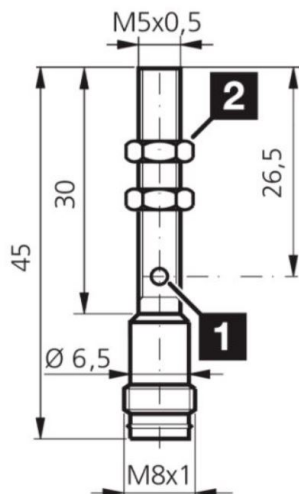
kde je zapotřebí snímat objekty, které se můžou nacházet vždy na trochu jiném místě (v řádu mm). Snímač je programovatelný a je možné nastavit, zda se bude chovat jako NO nebo NC kontakt. Jelikož se jedná o reflexní snímač, tak je zapotřebí za snímaným prostorem vybavit scénu odrazkou TKS 50x50.



Obrázek 5.8: Reflexní snímač PRK3C.A3/4T-M8 [20]

5.1.6.3 Optický difuzní snímač OTV05 V50 P1K-TSSL

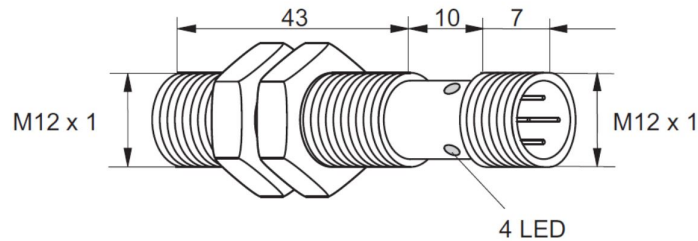
Pro indikaci, že se nachází láhev v růžici (snímání hrdla láhve), a že se víčko nachází v misce A otoče byl využit difuzní snímač OTV05 V50 P1K-TSSL od firmy di-soric. Snímač má relativně malé rozměry. Díky této vlastnosti lze snímač umístit do prostoru, kde je málo místa na senzorkou část. Rozsah snímání je 50 mm.



Obrázek 5.9: Optický difuzní snímač OTV05 V50 P1K-TSSL [21]

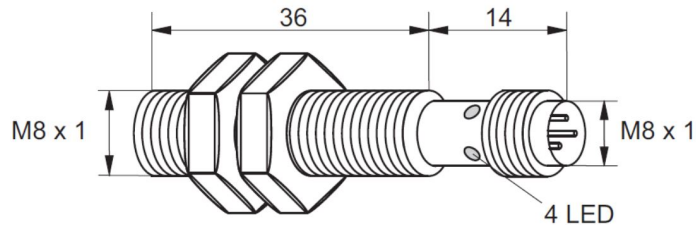
5.1.6.4 Indukční snímače Pulsotronic

V projektu jsou použity dva indukční snímače. První snímač KJ4-M12MB60-DPS je použitý pro nulování polohy rúžice. Na válcové vačce je drážka, která se nachází pouze v určité části vačky. Indukční snímač po správném nastavení vzdálenosti je schopen detekovat tuto polohu, která udává otočení právě o jeden krok rúžice společně s informací, že se vačka (m.j. rúžice) nachází ve výchozí pozici. Rozsah snímání čidla činí 4 mm.



Obrázek 5.10: Optický difuzní snímač OTV05 V50 P1K-TSSL [15]

Druhý snímač KJ2-M8MB50-DPS-V1 slouží pro kontrolu vačkového ústrojí, zda nedošlo k mechanickému přeskočení rúžice na stroji. Rozsah snímání čidla činí 2 mm.



Obrázek 5.11: Optický difuzní snímač OTV05 V50 P1K-TSSL [15]

5.2 Návrh elektrické části stroje

V této kapitole se nenachází návrh SRP/SC systému, který byl již rozebrán v kapitole č.4.

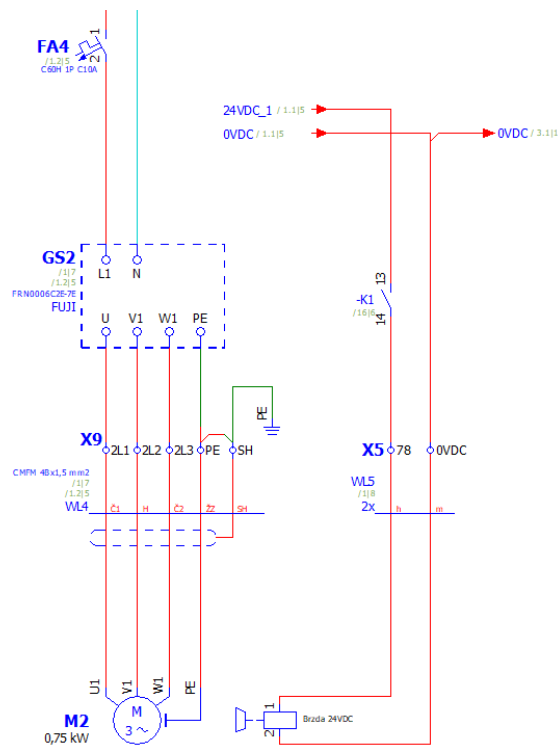
5.2.1 Výkonová část

5.2.1.1 Napájecí síť

Napájecí síť je 3NPE 50 Hz 400 V / TN-S. Veškeré výkonové prvky v jednoúčelovém stroji jsou napájeny jednofázově, tedy napětím 230 VAC. Dimenzování ochranných prvků je provedeno dle požadavků výrobců jištěných prvků. Maximální odebíraný proud v jedné fázi může dosáhnout až 8 A. Napájecí soustava pro ovládací obvody je charakteru 2PE, 24VDC, PELV pomocí stabilizovaného napájecího zdroje od společnosti Weidmuller o výkonu 120 W (5 A).

5.2.1.2 Asynchronní pohony

Frekvenční měniče FUJI jsou napájeny jednofázově pomocí napětí 230 VAC, na vstupních svorkách motoru se tedy bude nacházet trojfázové napětí 3x230 VAC. Jednotlivé motory jsou zapojeny do režimu D (trojúhelník). Pro přívod elektrické energie k motorům jsou použity stíněné kabely. U motoru říziče -**MA2** se navíc nachází elektromagnetická brzda. Elektromagnetická brzda se odbrždí elektricky. Po přivedení ovládacího napětí 24 VDC na brzdu se motor může pohybovat. Aplikace brzdy má jasný důvod. Po otočné říziči se požaduje, aby po vypnutí pohonu došlo k okamžitému zastavení hřídele motoru bez "doběhu". Tuto funkci právě zabezpečuje brzda. Pokud motor běží a dojde k vypnutí napětí pro ovládání brzdy, tak dojde k rozepnutí elektromagnetů, čímž dojde k okamžitému mechanickému brždění. Zastavení motorů tímto způsobem bývá z pravidla realizováno od 5ms do 80ms. Ovládání napětí brzdy je realizováno pomocí spínacího polovodičového relé, které je ovládáno z PLC.



Obrázek 5.12: Zapojení asynchronního motoru -MA2 a elektromagnetické brzdy

Řízení rychlosti jednotlivých motorů probíhá pomocí změny frekvence na VFD. Změna frekvence se může odehrávat v rozmezí 0 až 50 Hz. Pokud bychom chtěli zvýšit více otáčky hřídele, tak by tato varianta byla možná změnou frekvence nad 50 Hz ovšem na úkor snížení kroutícího momentu motoru. Vyšší rychlost se ovšem nepožaduje, protože všechny motory obsahují převodovky s převodem do pomala. Nastavování frekvence na měničích je realizováno pomocí napětového signálu 0-10 V, který přichází z PLC. Potenciál 0 VDC do měničů je tažen samostatně bez smyčkování zbylého

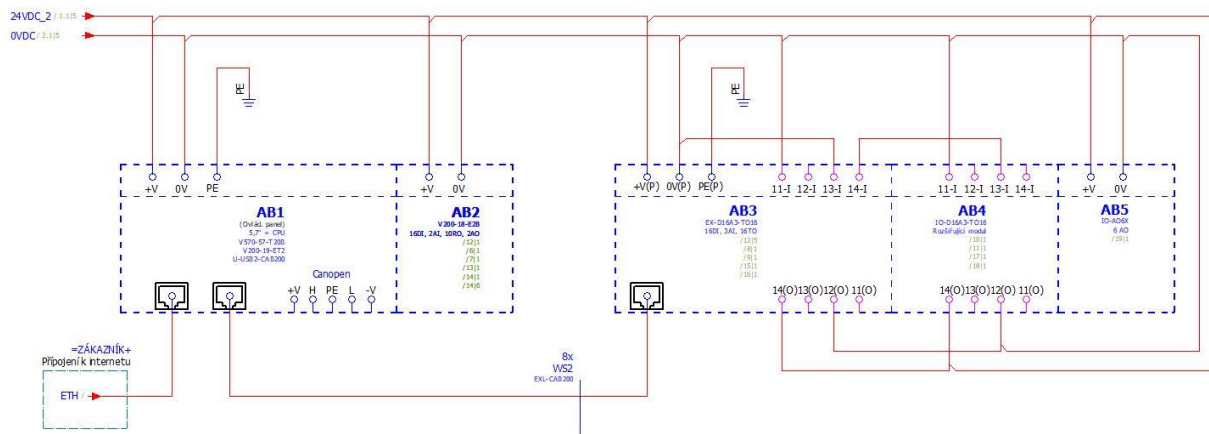
potenciálu 0 VDC z důvodu eliminace negativních vlivů na 0 VDC potenciálu. Do měničů vede DI signál pro spuštění pohonů. Z měniče vede 1 DO sloužící jako zpětná vazba o stavu prvku. Nastavení parametrů VFD bude podrobně rozebráno v kapitole 8.

5.2.1.3 BLDC pohon

U pohonu zavírací hlavy se řídí jak moment, tak rychlost otáčení. Analogové vstupy do měniče jsou realizovány pomocí napěťového signálu 0-10 V. Měnič obsahuje vstup pro otáčení motoru vpřed a vzad. Z VFD vede 1 DO sloužící jako zpětná vazba o stavu prvku. Na motor je kladen požadavek, aby se zavírací hlava otáčela konstantní rychlostí a nepřesáhla nastavený moment. Jeden pracovní cyklus zavírací hlavy trvá přibližně jednu sekundu. Pokud dojde k uzavření víčka na láhvi v kratším čase a dojde k proudovému přetížení z důvodu dosažení požadovaného momentu, tak může dojít k vyvolání alarmu na VFD po čase 1 s od problému, což převyšuje cyklus uzavírání víčka na láhvi. K motoru vedou dva kabely, kde jeden je pro zapojení přívodu elektrické energie a druhý kabel je pro indikaci stavu motoru (poloha, teplota, atp.). Nastavování parametrů frekvenčního měniče zajišťoval z časových důvodů jiný pracovník a proto tato část není blíže specifikována.

5.2.2 Zapojení PLC

Řídicím prvkem pro jednoúčelový stroj se stalo all-in-one PLC a HMI **AB1**. Na tomto prvku se nachází modul **AB2**. Ostatní karty **AB3**, **AB4** a **AB5** se nachází na DIN liště v rozváděči. Napájení PLC jednotek je jistiáno samostatně a je realizováno napětím 24 VDC.



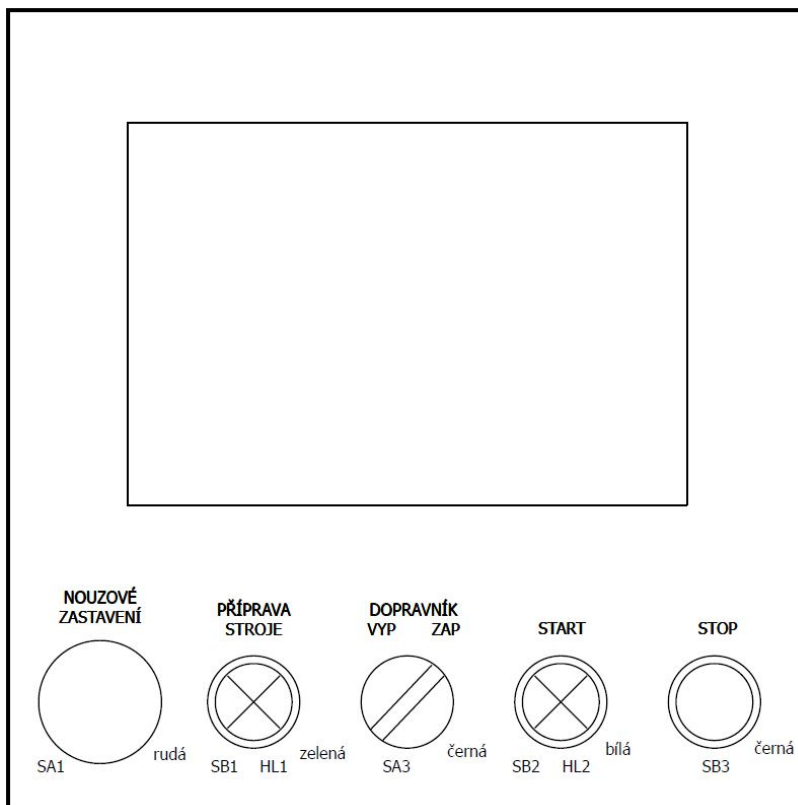
Obrázek 5.13: Architektura řídicího systému

Kompletní zapojení PLC karet je součástí přílohy výkresové dokumentace vytvořené v prostředí EPLAN. U digitálních vstupů je využito varianty, kdy je na digitální vstupy přiváděno napětí 24 VDC (pnp source). Pro signál z čidla GS754B/V4-98-S12 byl využit napěťový analogový výstup.

Pro rychlé kvadraturní signály z enkoderu byly využity HSC DI vstupy (**I0, I1**) na kartě **AB2**. Maximální vstupní frekvence u HSC DI je stanovena na 10 kHz. Pro ovládání ventilátoru a signalizace, že stroj běží byly použity releové výstupy na PLC kartě **AB2**. Ostatní ovládané prvky z PLC jsou řízeny z TO (tranzistorových výstupů), jelikož se očekává časté spínání jednotlivých prvků. Jak již bylo zmíněno v kapitole **5.2.1** pro řízení rychlosti pohonů byly využity analogové napěťové výstupy s rozsahem 0-10 V.

5.2.3 Ovládací panel

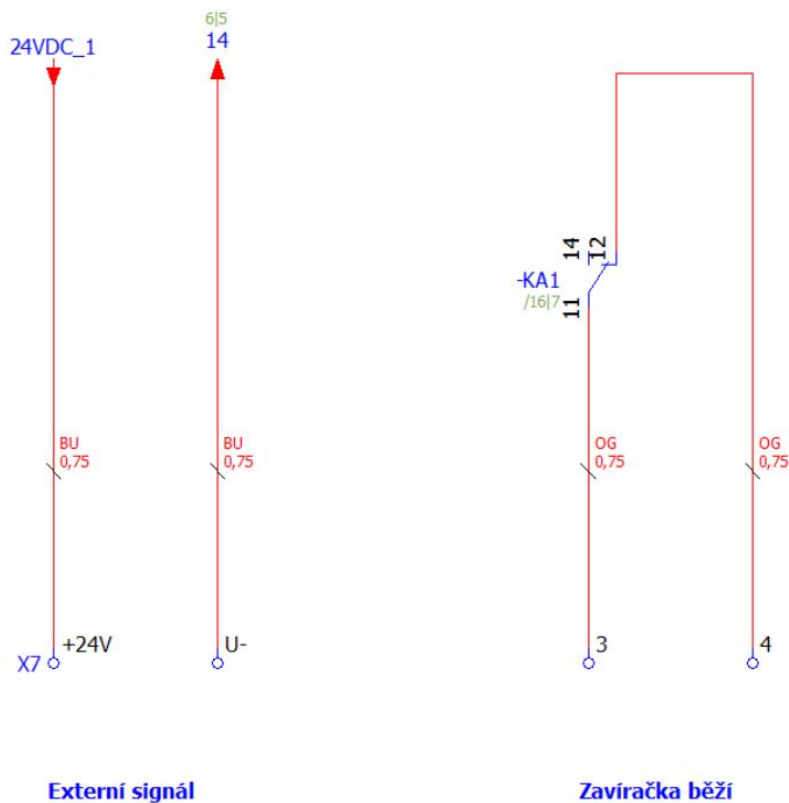
Pro ovládání stroje byla vytvořena deska z kovového materiálu, na které jsou umístěny ovládací tlačítka. Na desce se nachází tlačítka nouzového zastavení (1NO + 1NC), tlačítka přípravy stroje (1NO), tlačítka Start stroje (1NO) a tlačítka Stop (1NC). Nad tlačítka je vsazeno all-in-one PLC + HMI. Kovová deska je následně umístěna na levé boční straně rozváděče se středovou výškou 160 cm od země.



Obrázek 5.14: Ovládací panel jednoúčelového stroje

5.2.4 Zapojení externích obvodů

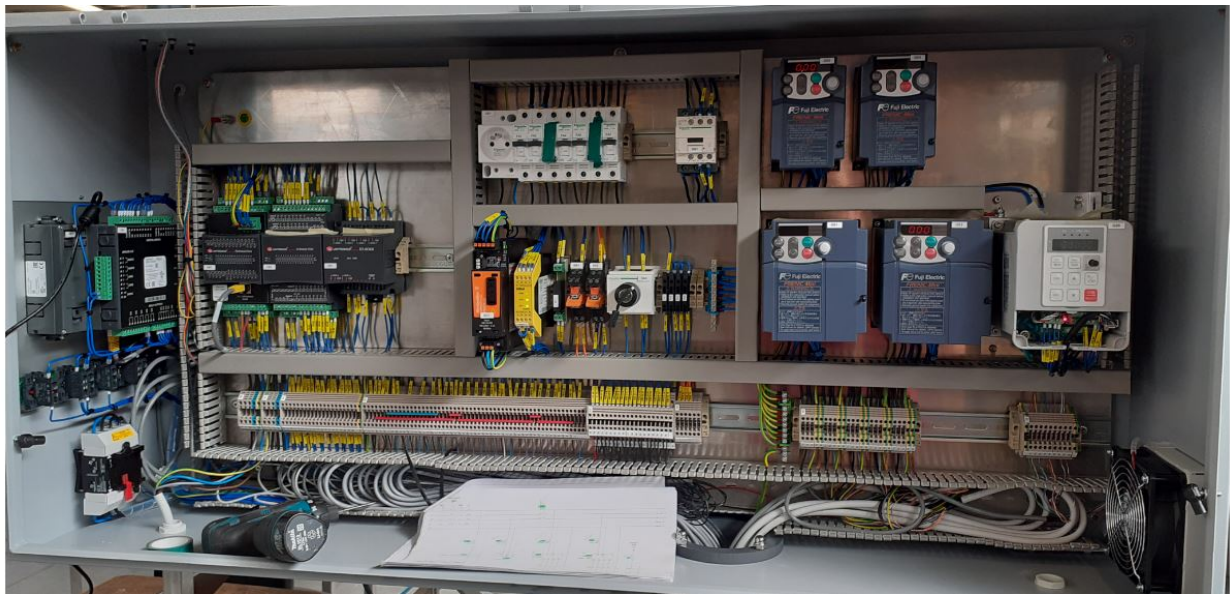
Pro případné propojení jednoúčelového stroje s dalším elektrickým zařízením (například další jednoúčelový stroj) jsou do elektrického schématu přidány svorky řady **-X7**. Na svorky 1,2 je možné přivést elektrický signál, který může způsobit například povolení chodu stroje (tato možnost není ve stroji naprogramována, pouze se jedná o přichystání HW části). Druhé zapojení externích obvodů obsahuje informaci zda stroj ne-běží. Informace je zaslána z PLC na cívku relé RCKIT. Z relé jsou vyvedeny pomocné kontakty (dimenzovány na 230 VAC) na svorky 3,4. Na tyto svorky si může technik třetí strany přivést napětí, které bude pomocí relé spínáno. Vodiče v rozváděči za svorkami 3,4 musí být provedeny oranžovou barvou. Jedná se o informaci pro případnou údržbu, že i po vypnutí hlavního vypínače může být tento okruh stále pod napětím. Tato problematika je definována normou ČSN EN 60204-1 ed.3.



Obrázek 5.15: Zapojení externích obvodů

5.2.5 Návrh rozváděče stroje

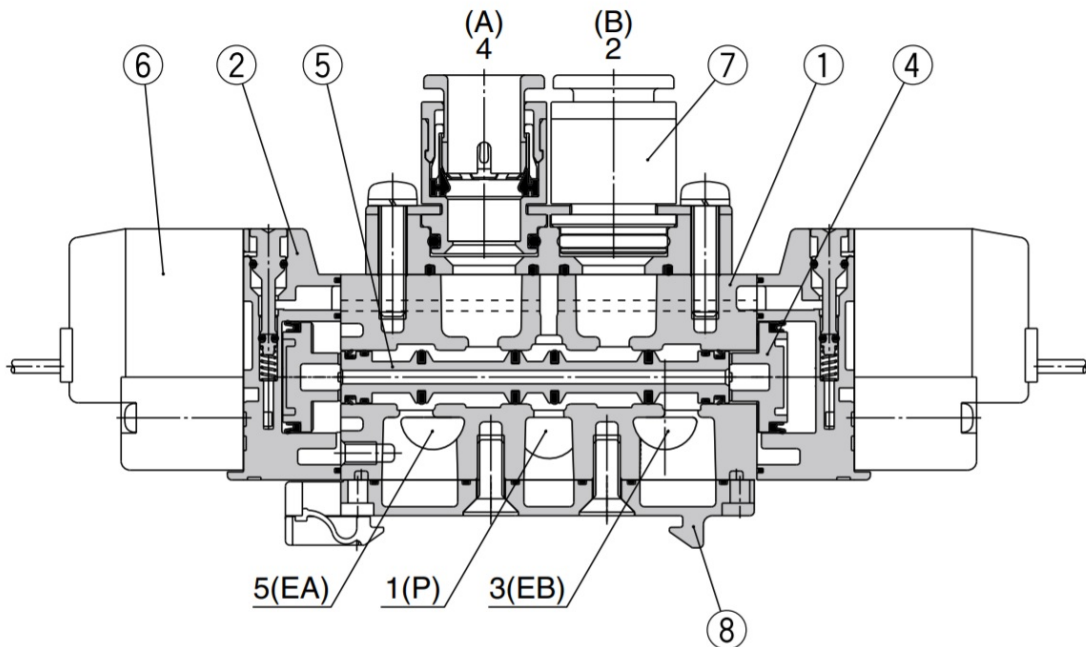
Konstrukčnímu oddělení byly zadány požadované rozměry rozváděče: šířka 1250 mm, výška 600 mm, šířka 300 mm, který byl následně nakreslen a zadán do výroby. Rozměry rozváděče šířkou kopírují rám jednoúčelového stroje. Uvnitř rozváděče se nachází montážní panel o rozměrech 1134 x 550 mm. Připojení kabelů je realizováno ze spodu. Ovládací panel se nachází na levé boční straně rozváděče. Pod ovládacím panelem je umístěn hlavní vypínač stroje. Na spodní pravé straně rozváděče se nachází ventilátor pro dostatečné odvětrávání vnitřního prostoru. Pro zabezpečení výměny vzduchu se na dveřích v levém horním rohu nachází větrací mřížka.



Obrázek 5.16: Uspořádání prvků v rozváděči stroje

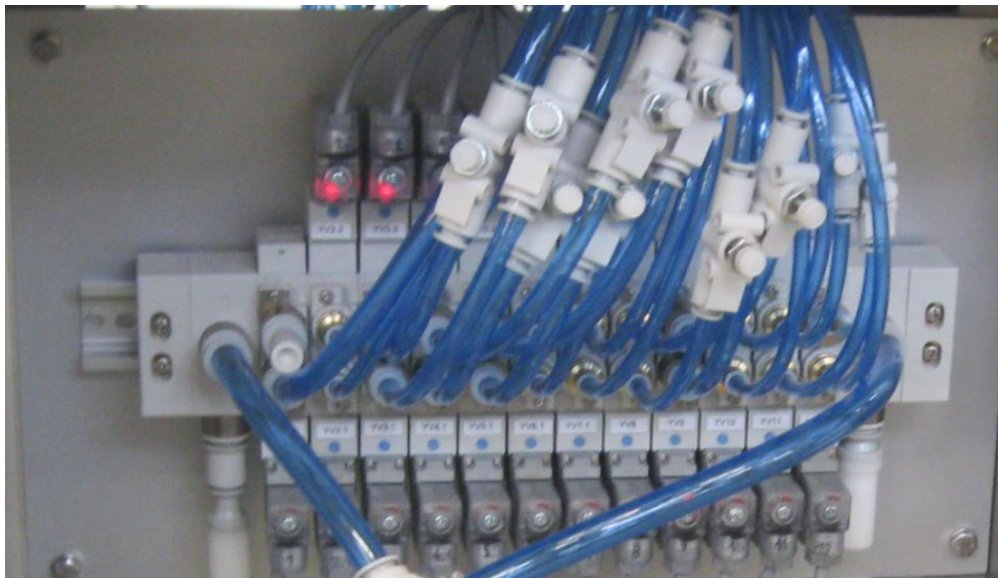
5.3 Návrh pneumatické části stroje

Požadavky na přívod vzduchu byly stanoveny na tlak 6 bar a přívod o průměru 12 mm. Jako hlavní vypínač pneumatických obvodů byl stanoven ruční ventil VHS30-F03A. Za ručním ventilem je umístěn regulátor tlaku AW30-F03H-A, který je nastaven na hodnotu 0,6 bar. Odtud následně vede pneumatické napájení do -YV1, který realizuje bezpečnostní funkci stroje. Z výstupu bezpečnostního ventilu je realizováno napájení pneumatických ventilů. Pro jednoúčelový stroj je využito celkem 12 ventilů (kombinace 5/2 a 5/3). Ventily jsou seskupeny do bloku a z obou stran jsou zakončeny napájecím prvkem SY7000-56-1A. Do napájecích bloků je přiveden stlačený vzduch a odtud je realizována distribuce vzduchu k jednotlivým ventilům skrze vzduchovou sběrnici 1(P), která vede celou pneumatickou sestavou. Jednotlivé ventily obsahují také sběrnice 5(EA) a 3(EB), které slouží pro odvod vzduchu. Umístění sběrnice u ventilu typu 5/2 je možné pozorovat na následujícím obrázku.



Obrázek 5.17: Boční pohled na ventil řady SY7000 typu 5/2 [14]

Pneumatická sestava je umístěna pod pracovním prostorem stroje a je umístěna na DIN liště. Napájení každého z ventilů je provedeno samostatným kabelem. Připojení kabelů na jednotlivé ventily je realizováno pomocí konektorů SMC K43. Na následujícím obrázku je možné vidět sestavu pneumatických ventilů. Výčet použitých ventilů je možné dohledat ve výkresové dokumentaci v části pneumatických schémata. V další části této kapitoly budou rozebrány pneumatické principy využitě pro požadovaný chod stroje.



Obrázek 5.18: Pneumatická sestava ventilů

5.3.1 Pofuk víček

Jedná se o princip, kdy je stlačený vzduch pouštěn skrze napájecí vedení do určitého prostoru, čímž je možné například omezeným způsobem manipulovat s určitými objekty (v našem případě s víčky). Aktivace jednotlivých pofuků je realizována pomocí spínání 5/2 pneumatických ventilů **-YV1** (Pofuk víček v dráze) a **-YV12** (Pofuk víček v orientátoru). Na výstupu 2(B) ventilu je umístěna záslepka KQ2P-06 - pokud není pneumatický ventil v aktivním stavu, tak je obvod uzavřen. Po sepnutí ventilu dochází k aktivaci výstupu 4(A), čímž je pofuk aktivován.

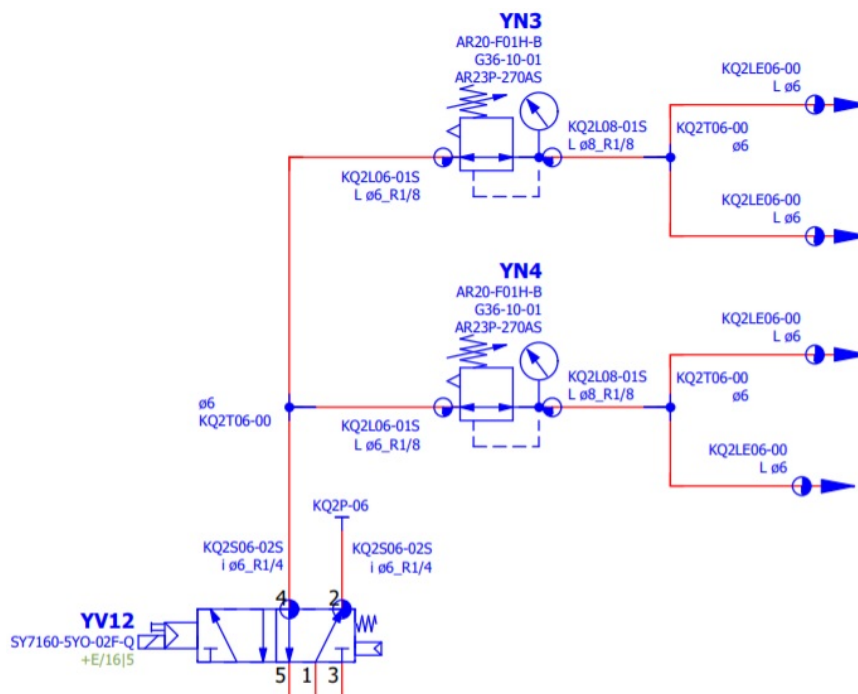
5.3.1.1 Pofuk víček v dráze

Za pneumatickým ventilem je umístěn regulátor tlaku AR20-F01H-B, odkud jde regulovaný stlačený vzduch do drážek dráhy víček, čímž je docíleno posouvání víček v dráze. Mechanické spojení s dráhou je realizováno pomocí fitting KQ2LE06-00. Pro každý formát víčka je nutné upravit na **-YN2** míru tlaku.

5.3.1.2 Pofuk víček v orientátoru

V orientátoru víček se nachází dráha kudy se pohybují víčka směrem do dráhy víček. V dráze orientátoru se nachází čtyři průduchy, kudy může proudit do dráhy stlačený vzduch. Pokud víčko přijíždí po dráze horní částí k průduchům, tak dojde k vymrštění víčka z dráhy. V případě, že víčko přijíždí vnitřní částí k průduchům, tak se stlačený vzduch nahromadí uvnitř prostoru víčka, ale tlak není dostatečný natolik, aby došlo k vymrštění víčka. Tímto způsobem dochází k správné orientaci víček v dráze. Jelikož je zapotřebí v každém místě zvolit jiný tlak pofuků, tak pro průduchy 1,2

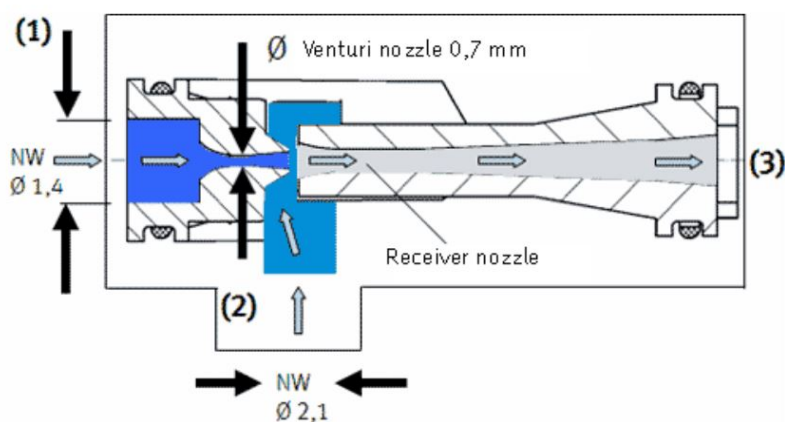
byl použit samostatný regulátor -**YN3**. Pro průduchy 3,4 byl použit regulátor -**YN4**. Pro každý formát víčka je nutné upravit na regulátorech velikost tlaku.



Obrázek 5.19: Pneumatické schéma - Pofuk víček v orientátoru

5.3.2 Přísátí víčka

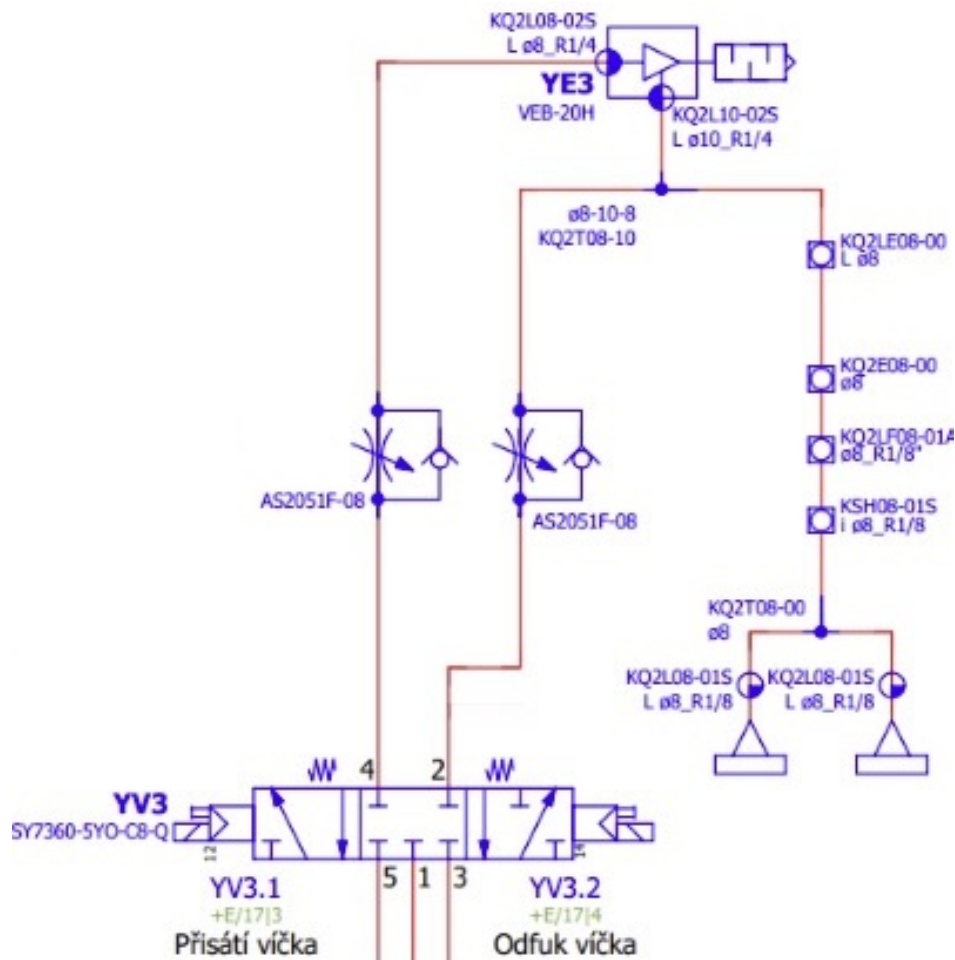
Pro přísátí víčka v miskách otoče byl využit vakuový ejektor VEB-20H od firmy FESTO.



Obrázek 5.20: Princip ejektoru [13]

Vakuový efektor funguje na základě Venturiho principu. Stlačený vzduch proudí od tlakového připojení vzduchu do ejektoru (1). Zúžení v trysce difuzoru zvýší rychlost proudění vzduchu až na úroveň nadzvukové rychlosti. Po výstupu z trysky difuzoru vzduch zvýší svůj objem a proudí přes trysku přijímače do výstupního otvoru (3 - tlumič hluku). Během tohoto procesu se tvoří vakuum v komoře mezi tryskou difuzoru a tryskou přijímače, které způsobí nasávání vzduchu z otvoru připojení vakua (2). Nasátý i odpadní vzduch proudí následně ven přes výstupní otvor (tlumič hluku) [13].

Při sepnutí cívky YV3.1 ventilu 5/3 dochází k aktivaci sání. V případě, že je aktivována cívka YV3.2, tak je aktivována druhá poloha pístu v níž dochází k odfuku víček v miskách otoče. Pokud nejsou cívky aktivovány, tak je píst uzamčen - v prostoru misek není vykonávána žádná funkce.



Obrázek 5.21: Pneumatické schéma - Přísátí / Odfuk víčka

5.3.3 Ovládání pohonů

Pohony, které by mohly způsobit v případě odpojení elektrické energie nežádoucího stavu jsou ovládány ventilem 5/3. Pohony, které svým umístěním na stroji nemůžou způsobit operátorovi nebezpečí jsou ovládány ventilem 5/2. Kompletní návrh pneumatických obvodů je součástí příloh jako výkresová dokumentace.

Kapitola 6

Návrh a realizace řídicí aplikace

Programování řídicí aplikace bylo prováděno v prostředí Unitronics Visilogic. Jedná se o softwarový balík, ve kterém se navrhuje program řídicího systému a také vizualizace. Návrh řídicí aplikace byl proveden pomocí LD (Ladder Diagram) programování podle standardu IEC 61131. Ostatní varianty programování podle IEC 61131 nejsou tímto softwarovým balíkem podporovány. Řídicí SW se skládá z podmnožiny funkčních programů, které jsou povoleny v hlavní programu Main. Pro srozumitelnější rozbor všech programů byly jednotlivé podprogramy rozděleny do čtyř skupin, které jsou zmíněny na následujícím obrázku. V této kapitole budou rozebrány stěžejní programy pro chod stroje. Nebude zde ovšem zmíněn kompletní popis všech programů.

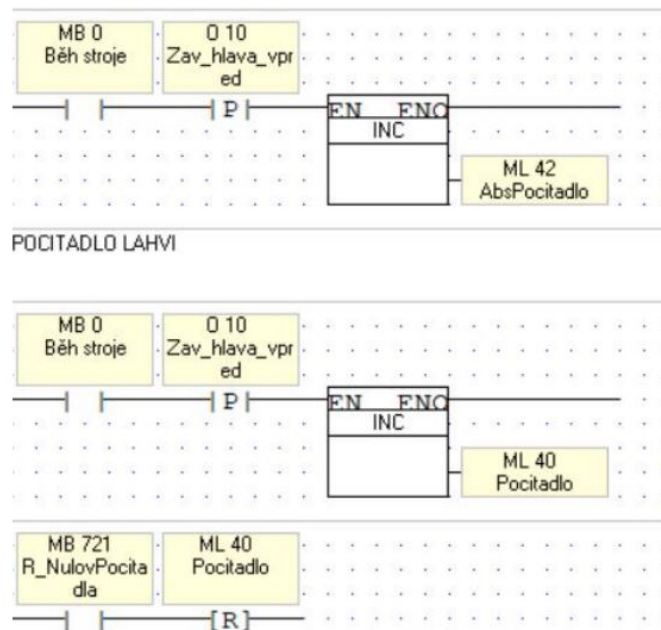


Obrázek 6.1: Struktura řídicí aplikace

6.1 Elementární SW

6.1.1 Main

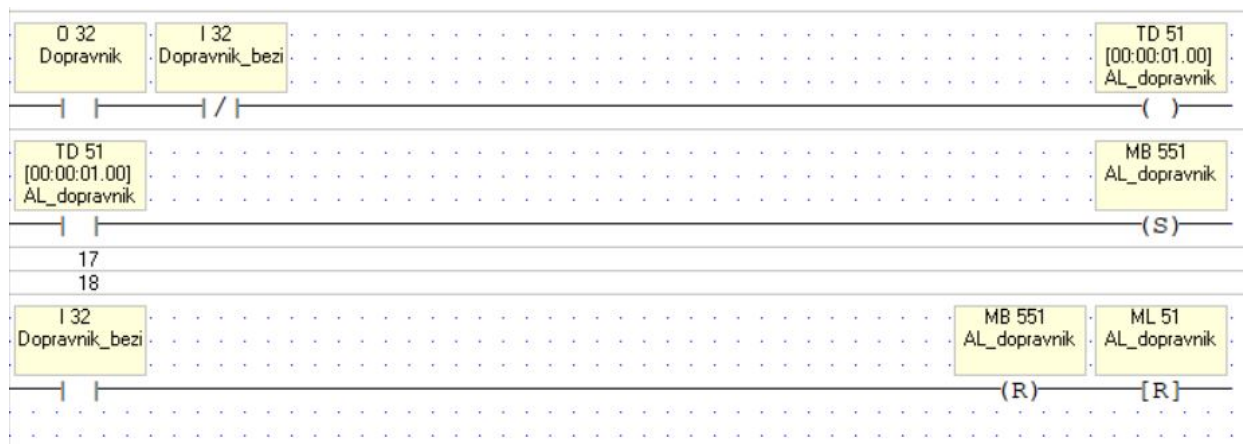
V této části programu jsou volány veškeré podprogramy stroje. V programu také dochází k aktivaci MB0 (Běh stroje). Běh stroje může být aktivován za podmínky, že se stroj nenachází v poruše, je puštěn dopravník a bylo stisknuto tlačítko start. Také musí být splněna podmínka, že se pneumatické písty nachází ve výchozích polohách. V programu této části se také nachází absolutní počítadlo počtu cyklů a počítadlo počtu cyklů s možností vynulování proměnné. Kód pro počítání uzavřených lahví je zobrazen na následujícím obrázku. Pro ukládání vyrobených kusů byl zvolen datový typ ML(Memory Long) s číselným rozsahem 2 147 483 647.



Obrázek 6.2: Počítadla vyrobených kusů

6.1.2 Alarmy

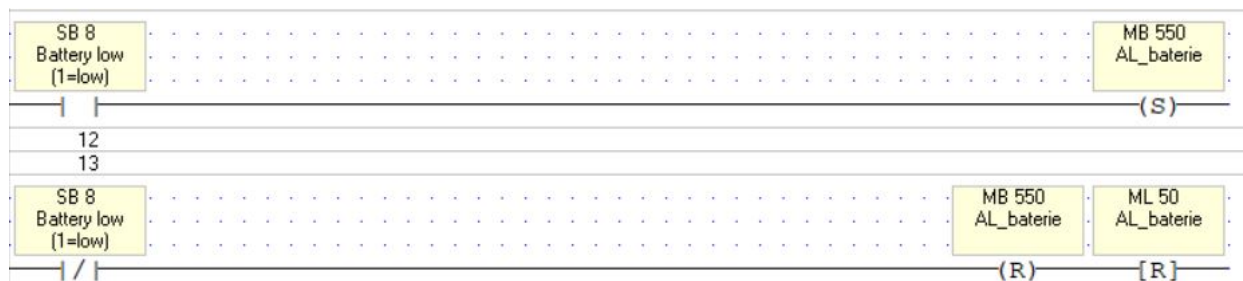
Podprogram slouží pro indikaci všech poruchových stavů, které se můžou na stroji vyskytnout. Aktivní prvky ovládané z PLC obsahují zpětnou vazbu (čidla, signály od měničů), která slouží pro vyhodnocení nežádoucích stavů. Vyvolání alarmu může například nastat, pokud je z PLC vyslán povel pro spuštění frekvenčního měniče. Pokud je frekvenční měnič v poruše, tak nevyšle na DI PLC signál, že měnič běží. Pokud tento stav trvá déle než jednu sekundu, tak dojde k ohlášení poruchy. Po zapnutí rozváděče stroje dojde vždy k vymazání všech alarmů. Alarmy je možné restartovat pomocí tlačítka stop. Pokud byl alarm restartován a porucha přetrvává, tak se alarm opět zobrazí.



Obrázek 6.3: Alarm - Porucha dopravníku

Analogicky dochází k vyhodnocení alarmu u pneumatických pohonů, na kterých se nachází čidla typu DA93. U pneumatického hnízda jsou kontrolovány obě polohy pístů. U pístu obsahujících pouze jedno čidlo DA93 je také realizována detekce poruchy ve stavech pístu ne-zasunuto. Pokud PLC nedostane požadovanou vstupní informaci od čidel v požadovaném čase, tak dojde k vyhlášení jednoho z alarmů. Čas pro signalizaci poruchy je u každého alarmu jiný v závislosti na konkrétní aplikaci (u kyvného pohonu je čas pro signalizaci poruchy stanoven na dvě sekundy). U pneumatických pohonů dochází ke smazání alarmu.

Po vyvolání dosud zmíněných alarmů dochází k okamžitému zastavení stroje - MB0 (Běh stroje) je resetován. Alarmy slabá baterie v PLC a přeskok rúžice jsou vyhodnocovány okamžitě. Poruchy související s kontrolou víčka na láhvi budou zmíněny v další části této kapitoly.

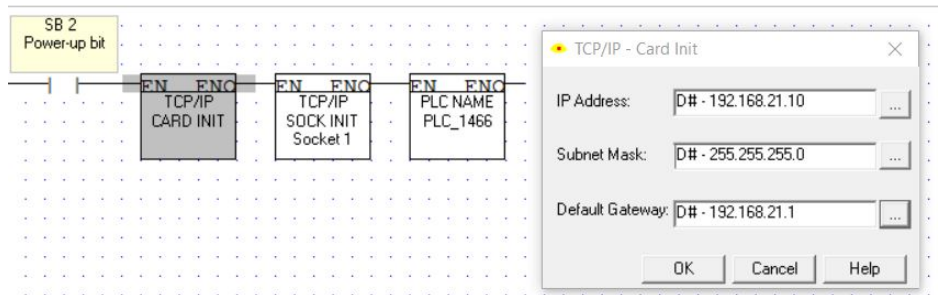


Obrázek 6.4: Alarm - Slabá baterie

6.2 Komunikace s okolím

6.2.1 Vzdálená správa

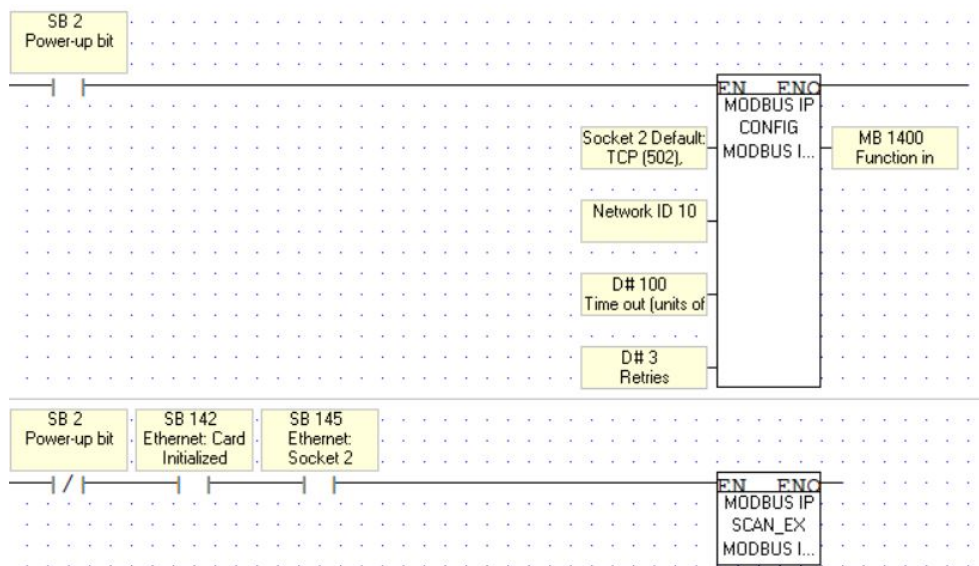
Pro možnost vzdáleného připojení ke stroji přes Internet byla nastavena IP adresa PLC jako 192.168.21.10.



Obrázek 6.5: Vzdálená správa

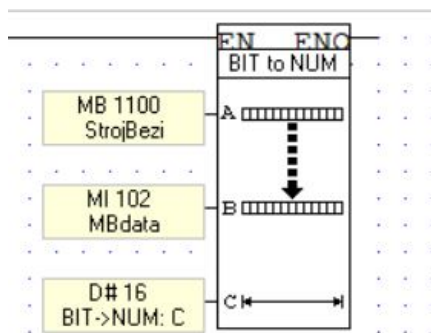
6.2.2 Komunikace Modbus TCP-IP

Pro případný sběr dat nebo pro posílání informací zařízení třetí strany o stavu stroje bylo PLC vybaveno programem, který realizuje Modbus TCP-IP komunikaci. Protokol využívá již nastavených vlastností TCP-IP a pouze povoluje možnost čtení všech proměnných stroje. Použité PLC je nastaveno jako Modbus Server tzn. Slave. PLC je schopné pouze point-to-point komunikace.



Obrázek 6.6: Nastavení MODBUS TCP-IP

Data určená pro zákazníka se nachází v proměnných MI101 až MI103 (Memory Integer). Zákazník bude schopen dohledat posílaná data na adresách holding registrů 40101 až 40103. V proměnné MI101 se nachází počítadlo vyrobených kusů. V MI102, MI103 se nachází zakódované informace o stavu stroje do 16 bitového čísla. Pro realizaci multiplexování bylo využito bloku BIT to NUMBER. Zobrazený blok převádí MB (Memory bits) 1100 až 1115 do proměnné MI102 (Memory Integer). Číselná reprezentace MB1100 odpovídá hodnotě LSB, MB1115 odpovídá hodnotě MSB.



Obrázek 6.7: Blok BIT to NUMBER

6.2.3 Propojení do linky

Jedná se o nejméně náročný program stroje. V tomto podprogramu je pouze realizována podmínka, že pokud je aktivní běh stroje (MB0), tak je výstup **Q45** na PLC v aktivním stavu. Tím pádem dochází k sepnutí pomocného relé **-KA2**. Více viz. kapitola 5.2.4.

6.2.4 Jazyky a Obrazovka

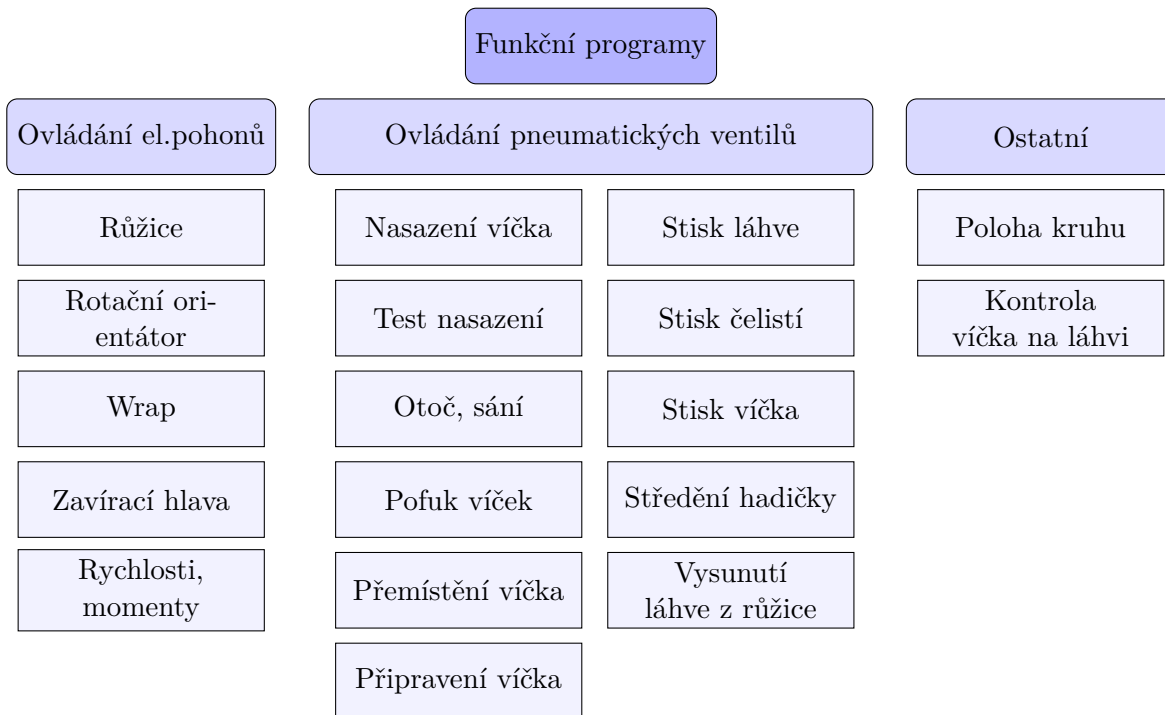
Ačkoliv jsou řídicí instrukce rozebíraných podprogramů realizovány v LD programování, tak bude tato problematika probrána v kapitole **Návrh a realizace uživatelského rozhraní**.

6.2.5 Maják

V tomto podprogramu dochází k ovládní signalizačního zařízení, které okamžitě upozorní obsluhu o aktuálním stavu stroje. V případě, že je stroj v pracovním režimu, tak svítí maják zelenou barvou. Pokud chybí láhve na vstupu růžice nebo chybí víčka v orientátoru či dráze, tak maják bliká oranžovou barvou (po uplynutí času 30 s). Maják svítí červenou barvou, je-li stroj v poruše (je aktivní minimálně jeden z alarmů kromě alarmů vztahujících se pro oranžovou barvu).

6.3 Funkční programy

Výčet všech programů nezbytných pro ovládání akčních prvků jednoúčelového stroje je možné vidět na následujícím obrázku. V této kapitole bude proveden rozbor stěžejních funkčních programů. Nebude zde proveden kompletní popis všech částí softwaru.



Obrázek 6.8: Funkční programy

6.3.1 Poloha kruhu

Jednoúčelový stroj může vykonávat některé úkony v závislosti na poloze růžice. Poloha růžice je získávána z inkrementálního čidla, kde je posílán kvadrurní signál A na rychlý vstup PLC.

V200-18-E2B

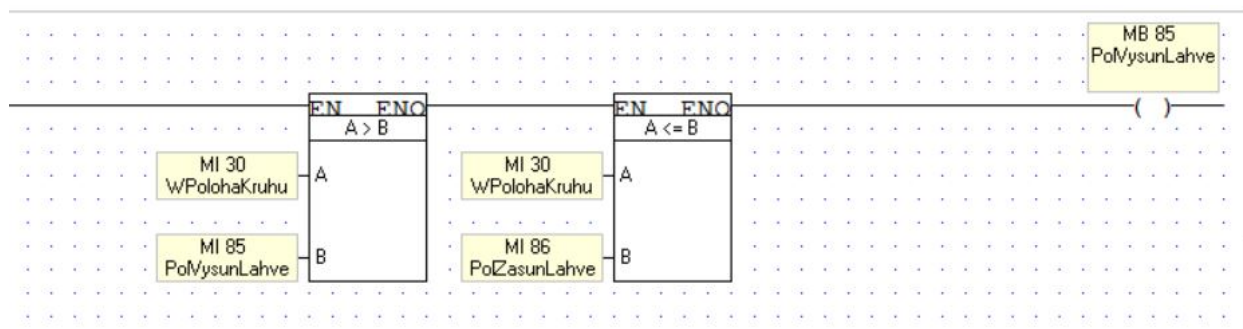
Digital Outputs | Analog Inputs | Analog Outputs | High Speed Inputs

| Address | Type | Op | Addr | Description |
|---------|--------------------------|----|------|--------------|
| I 0,1 | (A,B) Shaft encoder (X4) | MI | 30 | WPolohaKruhu |
| I 2,3 | None | | | |
| | None | | | |

Obrázek 6.9: Nastavení rychlého DI v PLC

Pokud dochází k pohybu hřídele motoru, tak dochází k přičítání do proměnné MI30. Pro přesun růžice z jedné polohy do druhé (tj. vykonání jednoho cyklu stroje) odpovídá MI30 maximální hodnotě 19500. Jakmile se růžice dostane do výchozí pozice, tak dojde k vynulování proměnné MI30 pomocí náběžné hrany vstupu I40 (Indukční snímač KJ4-M12MB60-DPS).

De-aktivace akčních členů může být v určitých režimech stroje vykonávána pouze v závislosti na poloze růžice. Jako příklad lze uvést ovládání pístu Y11 (vysunutí láhve z růžice) v automatickém režimu. Vysunutí láhve z růžice může nastat v případě, je-li hodnota v MI30 v rozmezí 5 500 (MI85) až 14 500 (MI86). Zasunutí pístu zpět je aktivováno přesažení hodnoty 14 500.



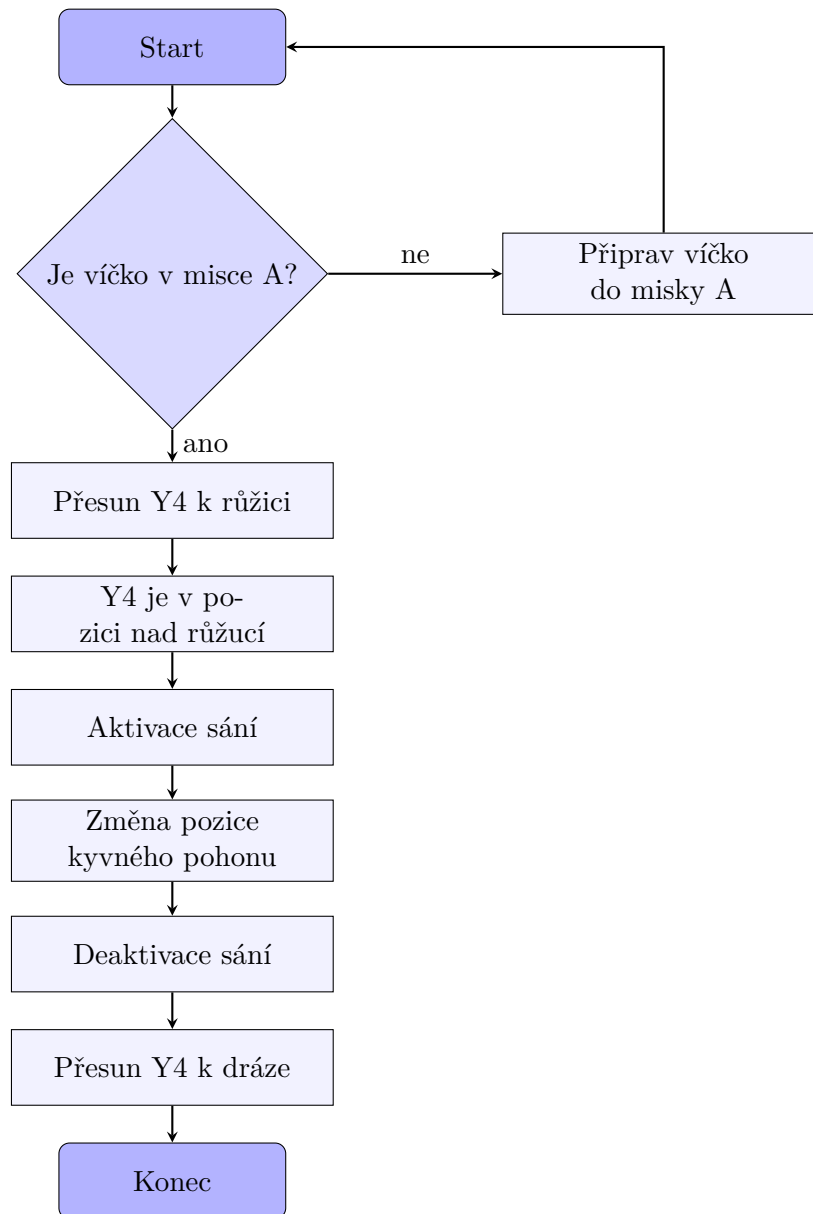
Obrázek 6.10: Povolení ovládání pístu -YV11

Analogicky k povolení ovládání pístu -YV11 podle polohy růžice, je využíváno dalších poloh. Pro jednotlivé hodnoty proměnné MI30 dochází k následujícím indikacím (stavům):

- **650** - Start kontroly víčka na láhvi
- **850** - Konec kontroly víčka na láhvi
- **5 000** - Na láhev může být nasazeno víčko
- **5 500** - Povolení ovládání pístu -YV11
- **7 000** - Kruh stojí
- **7 000** - Povolení aktivace pohonu zavírací hlavy
- **7 350** - Stisk láhve pod zavírací hlavou
- **8 900** - Pomalá rychlost růžice
- **9 400** - Stisk čelistí zavírací hlavy
- **13 500** - Konec pomalé rychlosti růžice
- **13 500** - Otevření čelistí
- **14 000** - Deaktivace pohonu zavírací hlavy
- **14 501** - Zasunout píst -YV11
- **15 500** - Zruš stisk láhve pod zavírací hlavou
- **17 600** - Pneumatické hnízdo se může přesunout k růžici

6.3.2 Přípravení víčka

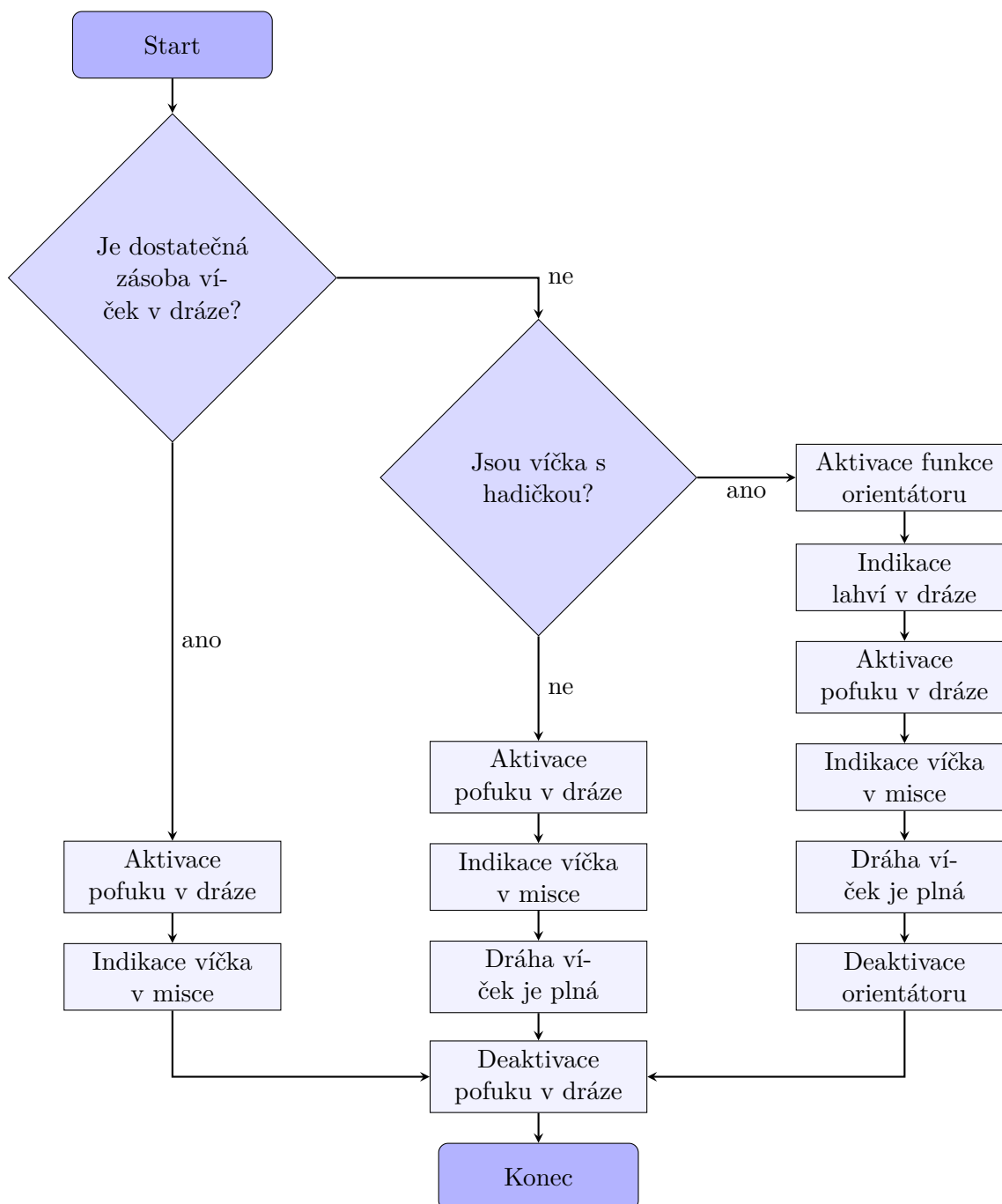
Před zahájením nového pracovního cyklu stroje se nemusí nacházet víčko v misce otoče směrem k růžici (miska A). Tento stav nastane vždy, když dochází ke změně formátu. V tomto případě by nedošlo k nasazení víčka na první přijíždějící láhev. Pro eliminaci problému byl vytvořen tento podprogram, který je možné spustit pouze v manuálním režimu stroje a za podmínky, že se všechny písty pneumatického hnízda nachází ve výchozí pozici. Vývojový diagram je poté následující:



Obrázek 6.11: Vývojový diagram - Příprava víčka

6.3.3 Přípravení víčka do misky A

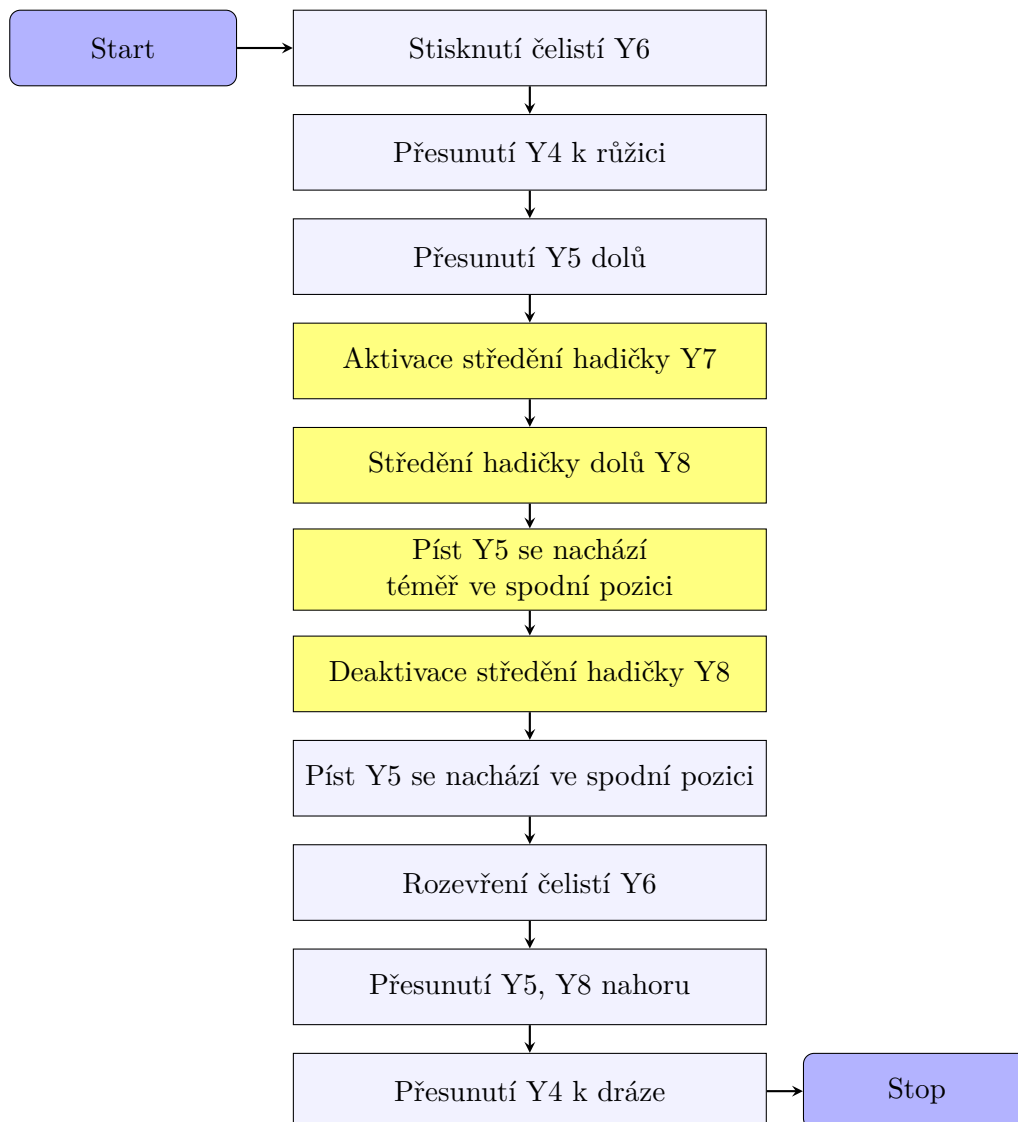
Následující vývojový diagram zobrazuje problematiku přípravy víčka do misky A. Tato část programu byla zahrnuta již v předešlém vývojovém diagramu.



Obrázek 6.12: Vývojový diagram - Přípravení víčka do misky A

6.3.4 Test nasazení

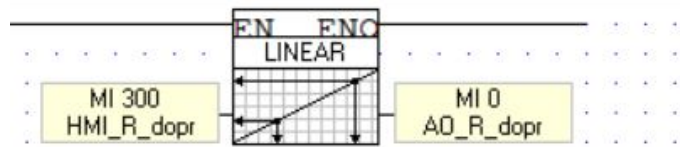
Program byl vytvořen pro operátory stroje, kteří se při změně formátů budou muset vyzkoušet, zda je pneumatické hnízdo pro nasazování víčka na láhev správně nastaveno. Program může pracovat pouze v manuálním režimu a za předpokladu, že je růžice ve výchozí pozici. Jedná se pouze o sekvenční problém, tzn. jakmile určitý píst dosáhne požadované pozice, tak dochází k de-aktivaci dalších pístů. U testu nasazení může být pro některé formáty aktivní režim středění hadičky. Pro tento režim jsou do vývojového diagramu přidány "žluté bloky". V případě, že je středění hadičky neaktivní, tak jsou písty určené pro středění ve výchozí pozici. Pro zjednodušení a lepší orientaci v problému se ve vývojovém diagramu pracuje se signály od čidel pouze v nezbytně nutné míře.



Obrázek 6.13: Vývojový diagram - Test nasazení

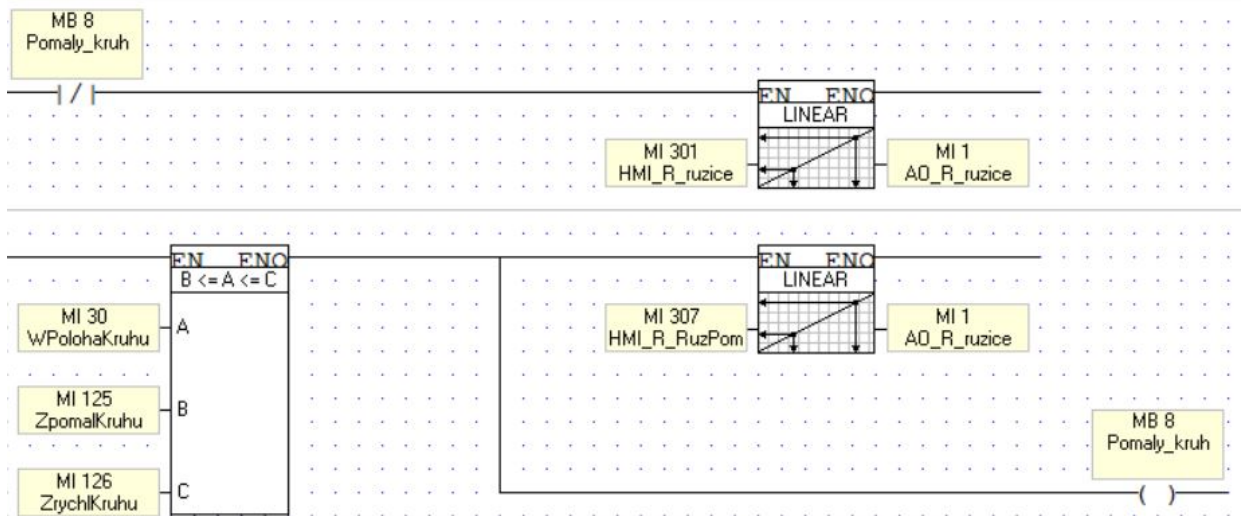
6.3.5 Rychlosti, momenty

V programu se realizuje nastavení jednotlivých rychlostí elektrických pohonů. Na operátorském panelu nastavujeme rychlost motoru v rozsahu 0 až 100%. Tato hodnota je následně pomocí bloku LINEAR převedena na rozsah 0 až 4095, kde hodnota 4095 odpovídá na analogovému výstupu z PLC o hodnotě 10 V.



Obrázek 6.14: Nastavení rychlosti dopravníku

Pro každý formát jsou nastavené rychlosti během chodu stroje na konstantní hodnotu. Změna rychlosti se odehrává pouze u zavírací hlavy, kde se během otáčení růžice střídají dvě rychlosti tj. rychlá a pomalá. Při spuštění zavírací hlavy k víčku umístěnému na láhvi dochází k předtáčení zavírací hlavy (MI30 v rozsahu 8 900 (MI125) až 13 500 (MI126)). Jakmile jsou zavírací čelisti v pozici víčka na láhvi, tak může být aktivována výchozí rychlost (rychle).



Obrázek 6.15: Změna rychlostí zavírací hlavy

6.3.6 Kontrola víčka

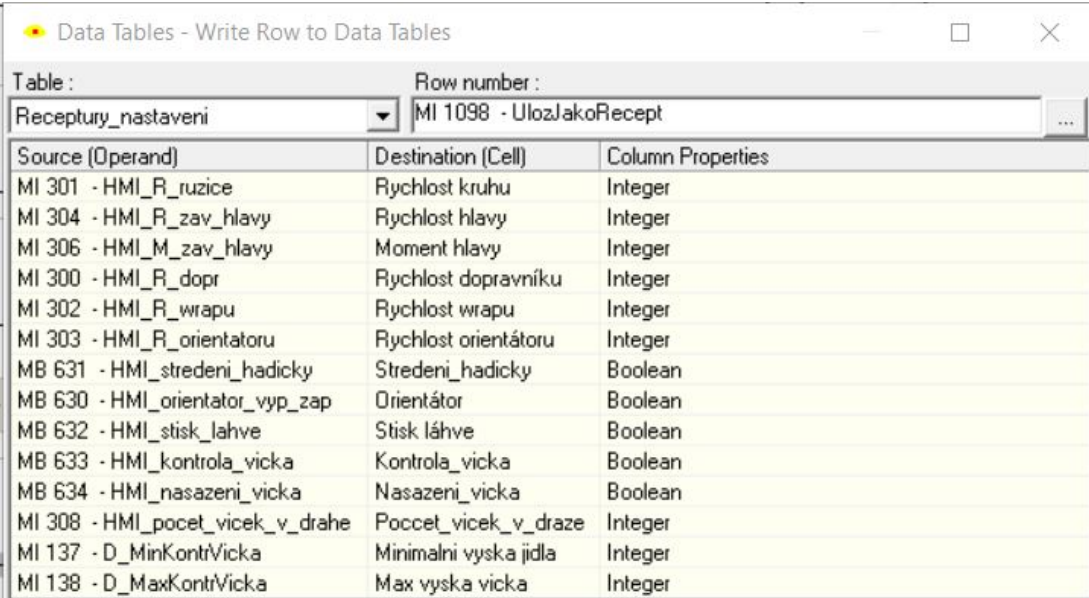
Pro MI30 v rozsahu 650 až 850 je realizována kontrola víčka na láhvi. Vyhodnocování je realizováno pomocí analogového snímače. Na operátorském panelu jsou nastaveny hodnoty Min a Max. Pokud se hodnota ze snímače nenachází při kontrole v rozsahu Min až Max, tak dochází k zahlášení poruchy. Poruchy mohou nabývat stavů **Víčko se nenachází na láhvi** a **Víčko není utaženo**.

6.4 Paměť

6.4.1 Receptury

Při změně formátu lahví a víček se kterými má stroj pracovat je zapotřebí změnit rychlosti motorů, nastavení časovačů atd. Také je zapotřebí některé funkce stroje vypnout/zapnout (například středění pro víčka s hadičkou). Při změně formátu by velké množství času zabralo samotné nastavení parametrů softwaru. Pro tento případ byl v PLC navrhnout program Receptury, který uloží do své paměti parametry (hodnoty proměnných) pro jednotlivé formáty, které můžou být znovu kdykoliv vyvolány. V recepturách jsou také uloženy měřítka poloh mechanických částí, které musí operátor při změně formátu nastavovat.

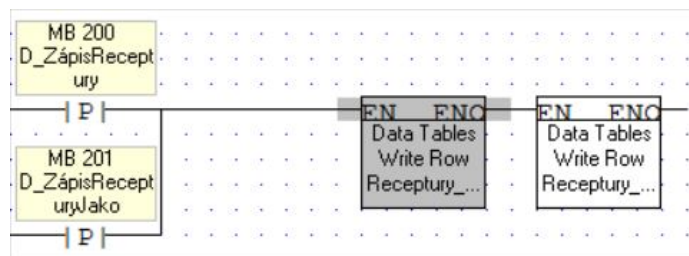
Nejdříve byly vytvořeny dvě datové tabulky Receptury-nastavení a Receptury-měřítko. Počet sloupců v tabulkách odpovídá počtu proměnných, které se mají ukládat a počet řádků odpovídá počtu receptur. V tabulkách se nachází celkem 30 řádků. V PLC tedy bude možné uložit až 30 variant parametrů softwaru. Pro uložení nastavených parametrů byl využit blok **Write Row to Data Tables**. V bloku je zapotřebí přiřadit proměnné, které se mají zapsat do paměti k jednotlivým sloupcům datových tabulek. Ukázka přiřazení jednotlivých proměnných datové tabulky Receptury-nastavení je možné pozorovat na následujícím obrázku.



| Source (Operand) | Destination (Cell) | Column Properties |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------|
| MI 301 - HMI_R_ruzice | Rychlost kruhu | Integer |
| MI 304 - HMI_R_zav_hlavy | Rychlost hlavy | Integer |
| MI 306 - HMI_M_zav_hlavy | Moment hlavy | Integer |
| MI 300 - HMI_R_dopr | Rychlost dopravníku | Integer |
| MI 302 - HMI_R_wrapu | Rychlost wrapu | Integer |
| MI 303 - HMI_R_orientatoru | Rychlost orientátoru | Integer |
| MB 631 - HMI_stredeni_hadicky | Stredeni_hadicky | Boolean |
| MB 630 - HMI_orientator_vyp_zap | Orientátor | Boolean |
| MB 632 - HMI_stisk_lahve | Stisk láhve | Boolean |
| MB 633 - HMI_kontrola_vicka | Kontrola_vicka | Boolean |
| MB 634 - HMI_nasazeni_vicka | Nasazeni_vicka | Boolean |
| MI 308 - HMI_pocet_vicek_v_drahe | Pocet_vicek_v_drahe | Integer |
| MI 137 - D_MinKontVicka | Minimalni vyska jidla | Integer |
| MI 138 - D_MaxKontVicka | Max vyska vicka | Integer |

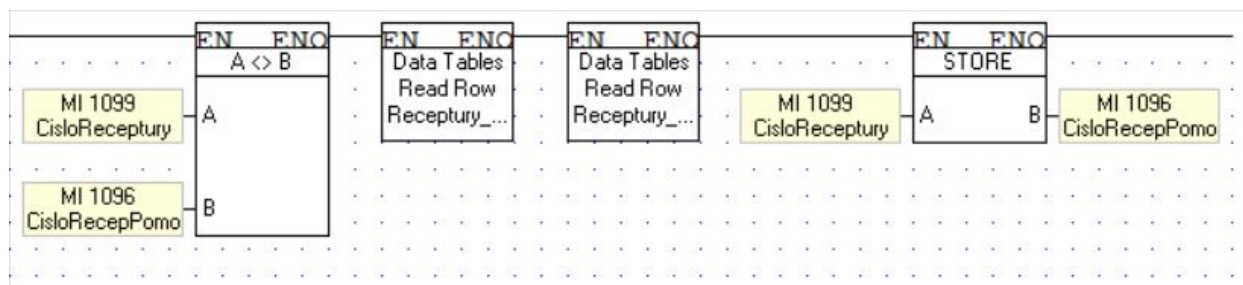
Obrázek 6.16: Blok Write row to Data Tables

Pro zapsání receptury do správného řádku tabulky je zapotřebí nastavit parametr Row number, který určuje proměnná MI1098. Zapsání receptury do příslušného řádku tabulky je realizováno aktivací bloku Write Row to Data Tables pomocí tlačítka **Uložit**, **Uložit jako** na operátorském panelu.



Obrázek 6.17: Aktivace bloku Write row to Data Tables

Pro vyčtení uložených parametrů z receptur se využívá blok **Read row from Data Tables**, který je nastaven stejným způsobem jako blok **Write row to Data Tables**. Čtecí blok vyčte uložené hodnoty z paměti a přiřadí je do proměnných, ve kterých jsou uloženy nastavené parametry stroje. Původní hodnoty v nastavených parametrech jsou tedy přepsány. Čtení uložených parametrů je aktivováno při každé změně čísla receptury (čísla řádku) na operátorském panelu.



Obrázek 6.18: Aktivace bloku Read row from Data Tables

6.5 Pracovní režimy stroje

Pracovní režimy stroje byly záměrně umístěny na konec této kapitoly, protože zde budou zmiňovány již dříve rozebrané části programů. Některé funkce stroje lze vypnout na obrazovce Nastavení 2 operátorského panelu.

6.5.1 Manuální ovládání

V manuálním režimu není aktivní proměnná MB0 (Běh stroje). V tomto stavu lze ovládat jednotlivé akční členy samostatně. V manuálním režimu nelze ovládat pneumatické písty libovolně. Pro případ, že by aktivace některého z pneumatických pístů mohla poškodit jinou část stroje (jiný píst) je možnost aktivace pístu blokována. Blokování manuálního ovládání jednotlivých pístů tedy závisí na aktuální poloze ostatních pístů stroje.

6.5.2 Automat

V automatickém režimu je využíváno jednotlivých poloh rúžice proměnné MI30 pro aktivaci akčních členů (aktivace wrapu, de-aktivace zavírací hlavy, de-aktivace vysouvacího stanoviště atp.) V každém stavu jsou také kontrolovány jednotlivé stavy od všech senzorů, akčních členů, od kterých jsou aktivovány další části stroje nezbytné pro vykonání jednoho cyklu stroje. Princip automatického chodu byl již zmíněn v kapitole č.3 - Funkční analýza stroje, proto zde nebude podrobně rozebírán.

Za zmínku strojí nasazovací stanoviště, které je dle vývojového diagramu - **Test nasazení** s rozdílem, že přesunutí pístu **Y5** směrem dolů může být provedeno pouze po dosažení hodnoty 5000 v proměnné MI30. Přesunutí **Y4** směrem k dráze může být provedeno po provedení programové části **Připravení Víčka. Příprava víčka do misky A** je v automatickém režimu neustále aktivní.

Vypnutí automatického režimu je realizováno při běžném provozu pomocí tlačítka stop. V případě jakékoliv poruchy dochází k okamžitému vypnutí automatického běhu stroje.

6.5.3 1-krok

Režim 1-krok je verzí automatického režimu s tím rozdílem, že je vykonán pouze jeden pracovní cyklus stroje. Po dokončení jednoho cyklu dochází k vypnutí pracovního režimu 1-krok.

Kapitola 7

Návrh a realizace uživatelského rozhraní

Návrh vizualizace byl prováděn ve stejném softwarovém prostředí jako řídicí aplikace. Výhodou SW Visilogic je, že proměnné použité při návrhu řídicí aplikace lze použít přímo ve vizualizaci. Návrh operátorského panelu obsahuje celkem 10 obrazovek, které jsou navrženy v českém, anglickém a ruském jazyce.

7.1 Použité objekty

7.1.1 Text

Jedná se o objekt s pevným textem. Objekt se využívá například u alarmů společně s funkcí Hide - ukrytí textového pole v závislosti na de-aktivovaném bitu.

7.1.2 Frame

Objekt Frame představuje tlačítko, které je aktivováno dotykem.

7.1.3 Binary text

Objekty binary text představuje přepínací tlačítko, které má dva stavy. U objektu se nachází funkce Disable view, která je využívána pro zamezení stisknutí tlačítka v případě manuálního režimu.

7.1.4 ASCII String

Jedná se o textové pole, do kterého lze zapsat text po přiřazení objektu proměnné DW (Double Word)

7.1.5 Numeric

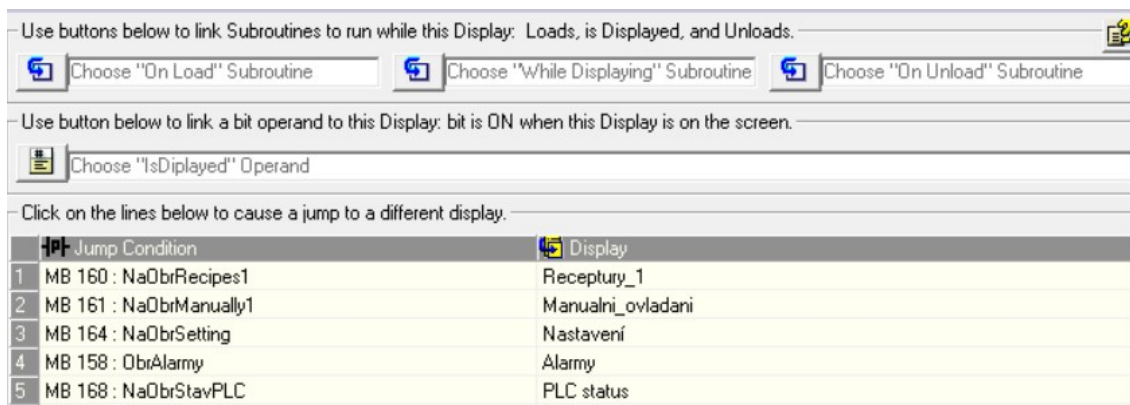
Jedná se o číselné pole, do kterého lze zapsat číselnou hodnotu po přiřazení objektu proměnné MI (Memory Integer), nebo ML(Memory Long).

7.1.6 Range of Images

Jedná se o objekt, který reprezentuje určitý stav stroje podle obrázků. Každému stavu proměnné MI může odpovídat jiný obrázek podle nastavení.

7.2 Přepínání obrazovek

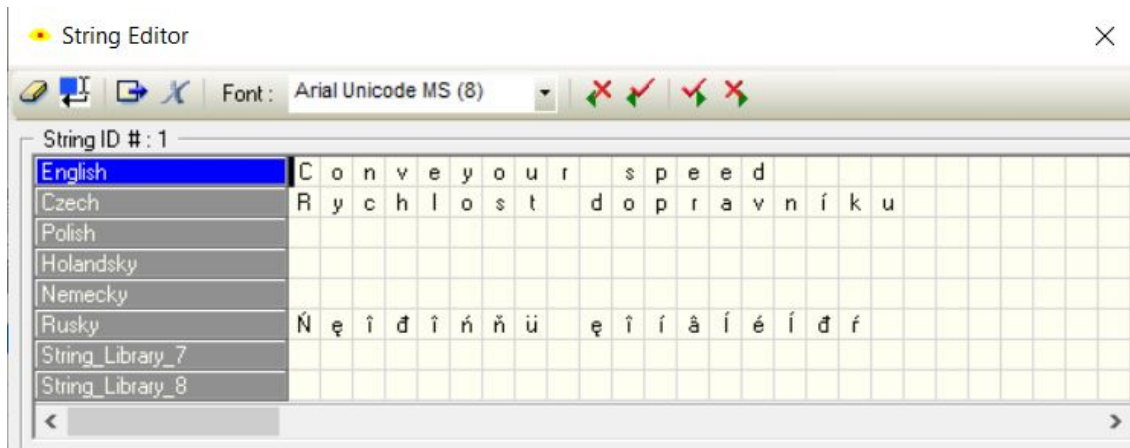
Přepínání jednotlivých obrazovek je realizováno skrze blok Binary Text. V tomto bloku je aktivována funkce Touch, kde dojde k aktivaci určeného Memory Bitu po dobu stisknutí tlačítka. Příslušný Memory bit je následně v záložce Links & Jumps přiřazen pro skok na jinou obrazovku.



Obrázek 7.1: Změna obrazovky operátorského panelu

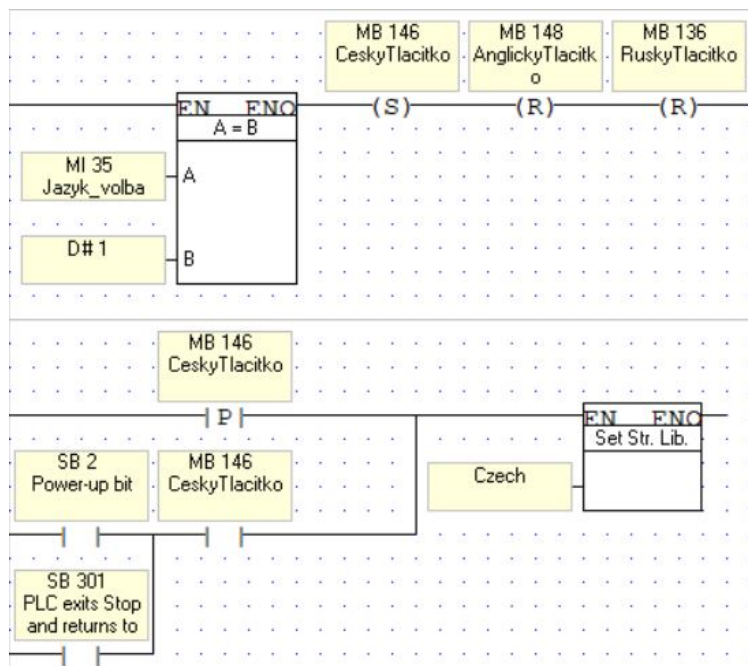
7.3 Volba jazyků

Jelikož je jednoúčelový stroj dodáván ruskému zákazníkovi, tak tento stroj obsahuje volbu ruského jazyka. Pro lepší komunikaci mezi interním servisním technikem a zákazníkem obsahuje stroj také anglickou verzi textů. V neposlední řadě se na stroji také nachází varianta českého jazyka. Pro každou verzi jazyků bylo vybráno jedno pole ze String Library, která představuje knihovnu slov v různých jazycích. Pro anglickou verzi bylo vybráno pole č.1 (English), pro češtinu pole č.2 (Czech) a pro ruský jazyk bylo vybráno pole č.6 (Rusky). Pro překlad do ruského jazyka byl osloven zákazník, který přeložil zasláná slova z angličtiny. Varianty jazykových modifikací jednotlivých slov je možné zobrazit v záložce String Editor.



Obrázek 7.2: String Editor

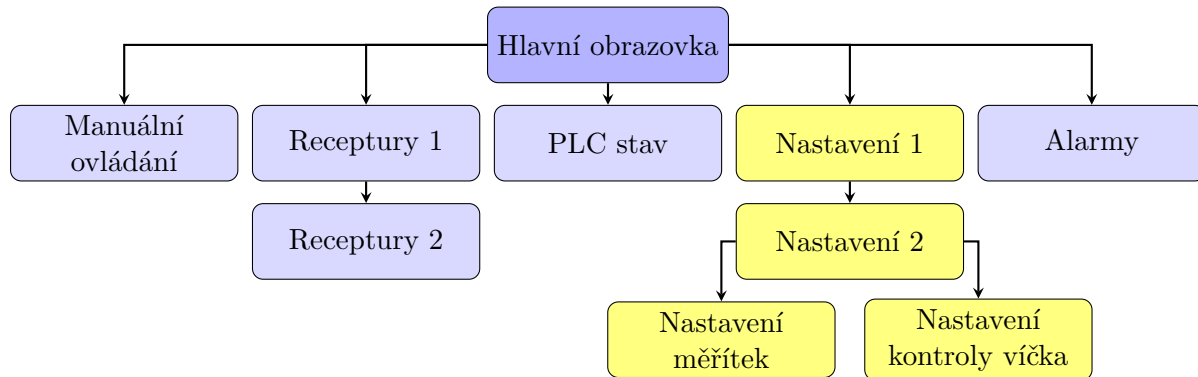
Změna jazyků je realizována skrze blok Range of Images. Po stisknutí obrázku "Vlajky" dojde v bloku ke změně vlajky v závislosti na jazyku. Uvnitř programu je každá vlajka reprezentována číslem v proměnné MI35. Pro volbu českého jazyky musí MI35 odpovídat hodnotě 1. Následně je pomocí bloku Set String Library aktivována příslušná jazyková variace.



Obrázek 7.3: Nastavení češtiny v programu

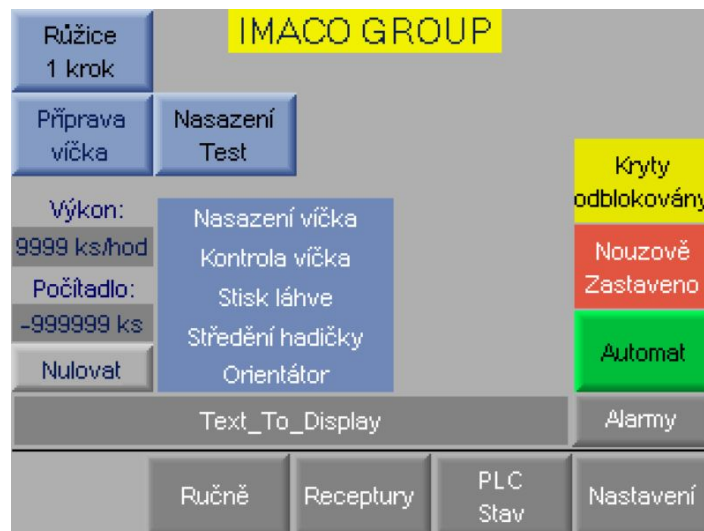
7.4 Obrazovky

Následující obrázek zobrazuje strukturu vizualizačního rozhraní. Jsou zde uvedeny všechny názvy jednotlivých obrazovek a je zde zobrazena struktura jak se dá k jednotlivým obrazovkám dostat.



Obrázek 7.4: Struktura vizualizačního rozhraní

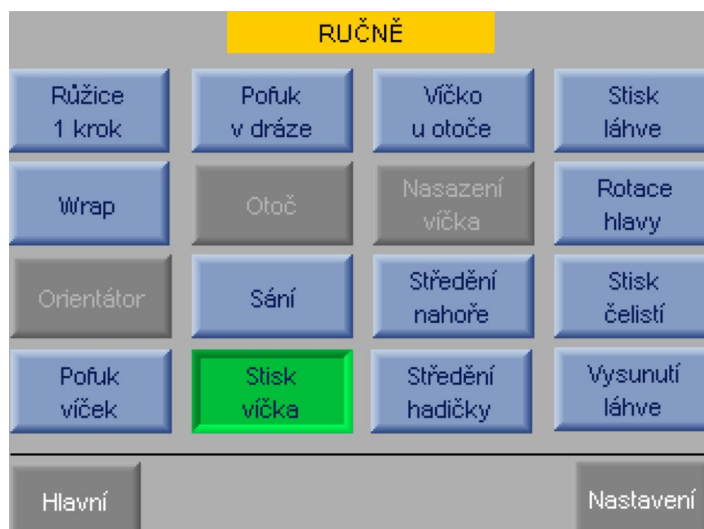
7.4.1 Hlavní obrazovka



Obrázek 7.5: Operátorský panel - Hlavní obrazovka

7.4.2 Manuální ovládání

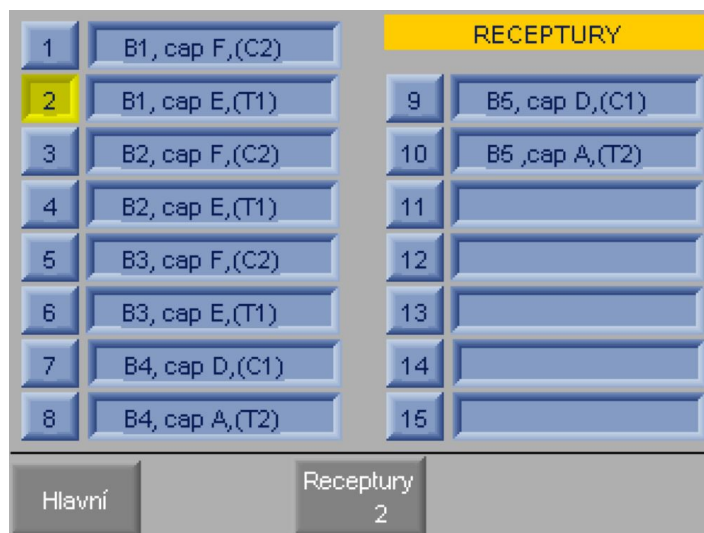
V režimu manuálního ovládání lze pomocí tlačítek ovládat jednotlivé akční členy. Modrou barvou jsou označeny neaktivní prvky, zelenou aktivní a šedě podsvícená tlačítka jsou z důvodu aktuální pozice pístů nebo z důvodu nastavení stroje blokována.



Obrázek 7.6: Operátorský panel - Manuální ovládání

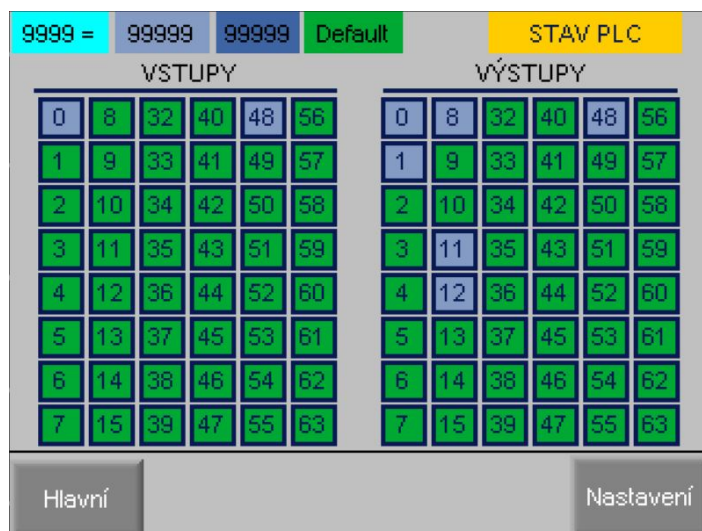
7.4.3 Receptury

V této obrazovce se ukládají názvy receptur. Stisknutím jednotlivých čísel dochází k vyvolání konkrétní receptury. Dalších 15 receptur se nachází na obrazovce Receptury 2.



Obrázek 7.7: Operátorský panel - Receptury

7.4.4 PLC stav



Obrázek 7.8: Operátorský panel - PLC stav

7.4.5 Nastavení 1

Na obrazovce se nastavují jednotlivé parametry stroje. Po stisknutí vlajky ve spodní části obrazovky dochází ke změně jazyku.



Obrázek 7.9: Operátorský panel - Nastavení stroje 1

7.4.6 Nastavení 2

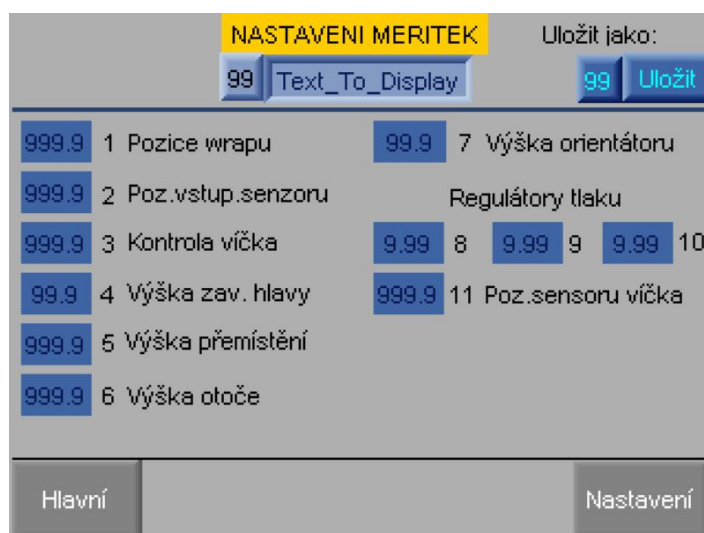
Na obrazovce je možné zapnout-vypnout jednotlivé funkce stroje jak pro manuální, tak automatický chod.



Obrázek 7.10: Operátorský panel - Nastavení stroje 2

7.4.7 Nastavení měřítek

Operátor výroby musí při každé změně receptury mechanicky nastavit měřítka stroje. Obrazovka slouží pro uložení těchto měřítek do paměti PLC.



Obrázek 7.11: Operátorský panel - Měřítka stroje

7.4.8 Nastavení kontroly víčka

Na obrazovce se nastavuje horní a dolní mez pro vyhodnocení, zda je víčko na láhvi uzavřeno nebo nastal nežádoucí problém.



Obrázek 7.12: Operátorský panel - Nastavení kontroly víčka

7.4.9 Alarmy

Na této obrazovce dochází k signalizaci jednotlivých poruch stroje. V případě, že dojde k poruše, tak se alarm zobrazí na této obrazovce.



Obrázek 7.13: Operátorský panel - Alarmy

Kapitola 8

Testování stroje a uvedení do provozu

Při uvádění zařízení do provozu byly postupně aktivovány jednotlivé programy. Při aktivaci každého nového programu došlo k důslednému testování samotného programu a také testování kooperace s již běžícími programy.

V první řadě byly aktivovány programy ovládající elektrické motory a nastaveny parametry frekvenčních měničů. U některých motorů byl požadovaný směr otáčení opačný. V těchto případech byla provedena reverzace změnou zapojení silových vodičů. Při testování otáčení růžice docházelo k přičítání hodnoty indikující polohu růžice do záporných hodnot v proměnné MI30. Bylo zapotřebí změnit zapojení inkrementálního senzoru prohozením vodiče A,B kvadrurních signálů na vstupní svorkovnici. Velmi pracnou částí při ožívování bylo určení poloh růžice pro aktivaci akčních členů. Hledání konkrétních poloh bylo prováděno pomocí "krokování" kde bylo možné posouvat růžici po krocích, nikoliv v rámci jednoho pracovního cyklu.

V další části byly postupně aktivovány jednotlivé pneumatické písty u stanoviště nasazování. Jednotlivé stavy byly testovány nejdříve v manuálním režimu a následně byla testována celková funkčnost nasazovacího stanoviště. Během ožívování se objevily nedostatky zabezpečení bezpečného přesouvání jednotlivých pístů, které byly následně přidány do softwaru. Dále byla testována aplikace středění víčka na láhvi a poté byly aktivovány ostatní pneumatické pohony vyskytující se samostatně. Na všech pohonech bylo zapotřebí správně umístit jazýčkové magnetické snímače pro snímání koncových a mezních poloh jednotlivých pístů. U kyvného pohonu bylo zapotřebí omezit přívod vzduchu pomocí škrtecí fitting. Bez přiškrcení docházelo ke škrbnutí kyvného pohonu v koncových polohách a následnému vymrštění přísávaného víčka. Při přiškrcení přívodu vzduchu ovšem kyvný pohon prodlužoval pracovní cyklus stroje, čímž musela být akce otáčení kyvného pohonu realizována v jinou dobu pracovního cyklu, než bylo původně zamýšleno. Ostatní pneumatické pohony obsahovaly taky škrtecí fittingy, ale jejich regulace nevyžadovala změnu přichystaného softwaru.

U realizace pofuků v orientátoru víček a v dráze se ukázalo, že v jednotlivých pofucích je zapotřebí jiný tlak vzduchu. Pro správné nastavení pofuků byly za ventily přidány regulátory tlaku pro

možnost regulace tlaku vzduchu jednotlivých pofuků.

Jelikož se jednalo o prototyp nového stroje, tak byly řešeny další nepředvídatelné problémy ve spolupráci se strojním konstruktérem stroje. Po oživení stroje byl zavírací stroj předán servisnímu technikovi, který provedl nastavení všech receptur požadovaných zákazníkem. Některé části programu byly ve finále upraveny podle připomínek servisního technika. Celková doba oživování stroje činila 14 pracovních dní.

Kapitola 9

Závěr

V rámci diplomové práce jsem navrhl hardware a software pro jednoúčelový stroj, který slouží pro uzavírání víček na lahvích. Po seznámení se s problematikou jednoúčelového stroje jsem se nejdříve zabýval návrhem bezpečnostního systému stroje podle ČSN EN 13849-1. V další fázi jsem se zabýval návrhem pneumatických obvodů a následně elektrických obvodů. Veškerá výkresová dokumentace týkající se této problematiky byla navržena v prostředí EPLAN.

Jako řídicí prvek pro jednoúčelový stroj bylo vybráno all-in-one PLC + HMI V570-57-T20B, které v sobě integruje programovatelný automat a operátorský panel. Řídicí aplikace obsahuje pracovní režimy jeden cykl, automat a manuální režim. V rámci řízení jednotlivých stanovišť zavíracího stroje hrály v programu důležitou funkci vysokorychlostní vstupy, na kterých byl připojen inkrementální senzor udávající aktuální polohu otočné růžice. Jelikož je stroj určen pro různé formáty, tak byl vytvořen podprogram receptury, který vyvolává konkrétní nastavení stroje pro jednotlivé typy lahví, víček. Operátorský panel byl navrhnut v českém, anglickém a ruském jazyce.

S výsledky diplomové práce jsem spokojený, jelikož se jedná o reálný projekt podle požadavků konkrétního zákazníka. Díky širokému záběru diplomové práce jsem se dozvěděl spousty nových informací, z kterých dále čerpám při řešení dalších projektů.

Literatura

- [1] KOZIOREK, Jiří, KOCIÁN, Jiří, ŠTRBÍK, Ondřej, FAJKUS, Zdenek. *Řídící systémy na bázi programovatelných automatů*. 2013.
- [2] *Interní výkresová dokumentace stroje firmy IMACO group, s.r.o.: HEM-1466*. Buchlovice, 2019.
- [3] CSN EN ISO 13849-1. Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů: Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. 2007.
- [4] ABB Příručka bezpečnosti: Bezpečnost strojů – Jokab Safety. 2013
- [5] BLAHO, Richard. Návrh ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem. Ostrava, 2020
- [6] Posouzení rizika pro konstrukci strojních zařízení - 1.díl. ElektroPrůmysl [online]. 26.7.2016 [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/posouzeni-rizika-pro-konstrukci-strojnich-zarizeni-1-dil>
- [7] Posouzení rizika pro konstrukci strojních zařízení - 2.díl. ElektroPrůmysl [online]. 29.7.2016 [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/posouzeni-rizika-pro-konstrukci-strojnich-zarizeni-2-dil>
- [8] *Uživatelská příručka: Měniče IRIS-BLDC pro napájení bezkartáčových stejnosměrných motorů*
- [9] PSYCHO TECHNO: OPTICAL ROTARY ENCODER [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://psychotechengineering.blogspot.com/2017/01/optical-rotary-encoder.html>
- [10] URBAN, Filip *Kontakt vačky a zdvihátka* [online]. Brno, Brno, 2012 [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30292359.pdf>. Bakalářská práce. VUT BRNO. Vedoucí práce ŠPERKA, Petr.
- [11] BOHUMIL, Horák. *Průmyslová robotika: 2. Senzorický systém mobilního robotu*. 2011.
- [12] *Rotary Indexers. YouTube* [online]. 24.7.2009 [cit. 2020-12-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=2atiOFA-qnQ&t=5s>

- [13] *FESTO*: Často kladené otázky - Vakuová technika [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/9830.html
- [14] *SMC*: Digitální katalog [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/a90-a93-a96-jazyckovy-snimac-polohy-prima-montaz-vodice-v-ose-75484_cfg
- [15] *Rem Shop* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.rem-shop.cz/>
- [16] *Schneider Electric* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.se.com/ww/en/>
- [17] *RS online* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/p/pneumatic-solenoid-pilot-operated-control-valves/7013151>
- [18] *MSITEC* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://store.msitec.com/Vision-570-p/v570-57-t20b.html>
- [19] *Obrázek* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.witmermotorservice.com/FRN0002C2S-4U-1/2-HP-Fuji-FRENIC-Mini-C2-Compact-Variable-Frequency-Drive-460V/image/item/FRN0002C2S-4U>
- [20] *Leuze* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.leuze.com/en/deutschland/>
- [21] *Di-soric* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.di-soric.com>

Příloha A

Soubory

- Analýza rizika jednoúčelového stroje
- Výkresová dokumentace elektrických schémat
- Výkresová dokumentace pneumatických schémat
- Software pro all-in-one PLC + HMI