

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**NÁVRH A SIMULACE ČINNOSTI VÝROBNÍ LINKY**

Martin Hrb

Diplomová práce

2018

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Hrb**  
Osobní číslo: **I16187**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Řízení procesů**  
Název tématu: **Návrh a simulace činnosti výrobní linky**  
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je návrh a simulační ověření činnosti vybrané části výrobní linky. Návrh bude obsahovat kompletní schémata daného úseku linky, rozmístění a zapojení snímačů, pohonných jednotek a další elektroniky a příslušná schémata rozvaděčů. K řízení linky bude použito PLC od firmy Schneider Electric.

**Teoretická část:**

Popis principů návrhu, modelování a simulace výrobních linek používaných v průmyslu a popis problematiky realizace jejich jednotlivých částí (vč. senzorů a akčních členů) a principů řízení systémů výrobních linek vhodnými regulátory zvolené struktury.

**Implementační část:**

Návrh a simulace jednotlivých částí vybraného úseku výrobní linky pomocí vhodných softwarových prostředků (např. Matlab & Simulink, LabVIEW, Eagle atp.). Realizace programu pro PLC ve vývojovém prostředí SoMachine.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**BISHOP, R. H. 2007. Mechatronics Systems, Sensors and Actuators: Fundamentals and Modeling. 2. vyd. Boca Raton (USA): CRC Press. ISBN 978-0-8493-9258-0.**

**BISHOP, R. H. 2008. Mechatronic System Control, Logic, and Data Acquisition. 2. vyd. Boca Raton (USA): CRC Press. ISBN 978-0-8493-9260-3.**

**ŠMEJKAL, L.; MARTINÁSKOVÁ, M. 2002. PLC a automatizace 1: základní pojmy, úvod do programování. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-86056-58-9.**

**ŠMEJKAL, L. 2005. PLC a automatizace 2: sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-7300-087-3.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Libor Kupka, Ph.D.**

Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce:

**31. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2018**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. listopadu 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 27.08.2018

Martin Hrb

### **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu, kterým byl Ing. Libor Kupka, Ph.D., za odborné vedení a čas, který mi věnoval. Také bych chtěl poděkovat své rodině za finanční a morální podporu během studia. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Janu Štachovi a Petru Wolfovi za praktické konzultace.

V Pardubicích dne 27. 08. 2018

Martin Hrb

## **ANOTACE**

*Práce je věnována problematice návrhu výrobní linky. Byl vytvořen souhrnný studijní materiál přibližující problematiku PLC a jejich programování. V prostředí AutoCAD byla vytvořena kompletní technická dokumentace, řídicí program byl vytvořen v prostředí SoMachine. Provozní schopnost navržené linky je demonstrována vizualizačním programem vytvořeném také v SoMachine.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*výrobní linka, PLC, automatizace, návrh automatického systému.*

## **TITLE**

*DESIGN AND SIMULATION OF THE PRODUCTION LINE*

## **ANNOTATION**

*This work focuses on problematics of production line design. Comprehensive study material which explains the problematics of PLCs and their programming, was also developed as a part of this work. Technical documentation was created in AutoCAD, control program was developed in SoMachine and visual demonstration of operation of the designed production line was created in SoMachine as well.*

## **KEYWORDS (TUČNÁ VELKÁ PÍSMENA 12 pt)**

*Production line, PLC, Automatization, Design of the automatic system.*

## Obsah

Seznam zkratk a značek .....	8
Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí .....	9
Seznam ilustrací .....	10
Seznam tabulek .....	11
ÚVOD .....	12
1 TEORIE PLC A AUTOMATIZACE .....	13
1.1 SLOVO NA ÚVOD .....	13
1.1.1 Výpočetní technika v automatizaci .....	13
1.1.2 Operátorské rozhraní .....	15
1.1.3 Bezpečnost a spolehlivost .....	17
1.2 PLC .....	17
1.2.1 Konfigurace PLC .....	18
1.2.2 Programové vybavení PLC .....	21
1.2.3 Vykonávání programu PLC .....	24
1.3 KOMBINAČNÍ FUNKCE .....	26
1.3.1 Logické operátory .....	29
1.3.2 Pravdivostní tabulka .....	30
1.3.3 Karnaughova mapa .....	32
2 NÁVRH LINKY A ROZVADĚČE .....	36
2.1 POPIS FUNKCE LINKY, SNÍMAČŮ A AKČNÍCH ČLENŮ .....	36
2.2 ROZVADĚČ .....	39
2.3 PRINCIP PŘIPOJENÝCH PERIFERÍ .....	46
2.3.1 Pneumatický pohon .....	46
2.3.2 Asynchronní motor .....	48
2.3.3 Použitá sensorika .....	49
3 ŘÍDICÍ PROGRAM PLC .....	52
3.1 VOLBA KONFIGURACE PLC V SOMACHINE .....	52
3.2 VLASTNÍ PROGRAM .....	55
3.3 VIZUALIZACE PROGRAMU .....	60
4 ZÁVĚR .....	62
POUŽITÁ LITERATURA .....	63
Přílohy .....	64

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AC	střídavý proud
AND	konjunkce (logický součin)
CFC	Continuous Function Chart (volně propojované bloky)
DC	stejnoseměrný proud
DEON	hlavní jistič
FBD	Function Block Diagram (schéma funkčních bloků)
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise
IL	Instruction List (posloupnost instrukcí)
LD	Ladder Diagram (kontaktní plán / liniové či reléové schéma)
NAND	negovaný logický součin
NOR	negovaný logický součet
NOT	invertor (negace)
OR	disjunkce (logický součet)
PC	personal computer (osobní počítač)
PE	ochranný vodič (zem)
PLC	programovatelný logický automat
XOR	exkluzivní disjunkce
ST	Structured Text (vyšší programovací jazyk - obdoba Pascalu)

## SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

$a$	vstupní logická proměnná
$b$	vstupní logická proměnná
$\beta$	prostorový úhel mezi osami $\phi$ a $I_2$ .
$c$	vstupní logická proměnná
$F$	logická funkce
$f$	frekvence napájení, Hz
$\phi$	magnetický tok ve vzduchové mezeře, Wb
$\varphi_2$	časový úhel mezi $U_2$ a $I_2$
$I$	elektrický proud, A
$I_2$	proud indukovaný v rotoru, A
$M$	elektromagnetický moment
$n$	skutečné otáčky, ot/min
$n_s$	synchronní otáčky, ot/min
$p$	počet pólových dvojic
$P$	výkon, W
$s$	skluz motoru, $\text{min}^{-1}$
$U_s$	sdružené napětí (mezi fázemi), V
$U$	elektrické napětí, V

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Hierarchie uspořádání řídicího systému .....	14
Obr. 1.2 – Klasické ovládací prvky (signálky a přepínač) .....	16
Obr. 1.3 – dotykový programovatelný panel .....	16
Obr. 1.4 – Principiální schéma způsobů řízení (ruční, dopředné a zpětnovazební) .....	17
Obr. 1.5 – Schéma vnitřní struktury PLC .....	19
Obr. 1.6 – Grafické programovací jazyky PLC .....	24
Obr. 1.7 – Cyklické vykonávání programu PLC .....	25
Obr. 1.8 – Logická hradla .....	29
Obr. 1.9 – Karnaughova mapa pro funkci F z Tab. 1.1 .....	32
Obr. 1.10 – Minimalizace funkce M za pomoci K - mapy .....	35
Obr. 2.1 – Pracovní stanoviště (formování) s ovládacím panelem a začátkem linky .....	36
Obr. 2.2 – Semafor (dvě cesty ke dvěma pracovním stanovištím) .....	37
Obr. 2.3 – Koncové pracovní stanoviště (odebrání palety) .....	38
Obr. 2.4 – Rozložení přístrojů a svorek na desce rozvaděče .....	40
Obr. 2.5 – Jištění napájecí svorky čidel .....	41
Obr. 2.6 – Rozšiřující modul PLC s připojenými signály ze snímačů přes svorky .....	42
Obr. 2.7 – Hlavní přívod a jištění obvodů .....	43
Obr. 2.8 – Připojení motoru .....	45
Obr. 2.9 – Značka jednočinného válce se zásuvnou pružinou .....	47
Obr. 2.10 – Princip funkce asynchronního motoru .....	49
Obr. 2.11 – Indukční snímač .....	50
Obr. 3.1 – Výběr PLC .....	52
Obr. 3.2 – Záložka s rozšiřujícími moduly .....	53
Obr. 3.3 – Pojmenování bitů rozšiřujícího modulu TM5SDI12D .....	54
Obr. 3.4 – Device tree s kompletními konfigurací M258 .....	55
Obr. 3.5 – Přidání programu, pojmenování a výběr programovacího jazyku .....	55
Obr. 3.6 – Přiřazení funkce bloku a tabulka deklarování proměnné .....	56
Obr. 3.7 – Program signalizující poruchu pneumatického členu .....	59
Obr. 3.8 – Vybrání a přiřazení priority programům .....	60
Obr. 3.9 – Nastavení kruhového objektu (demonstrující funkci signálky) .....	61
Obr. 3.10 – Přiřazení proměnných tlačítka .....	61

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Pravdivostní tabulka funkce F .....	30
Tab. 1.2 – Složená pravdivostní tabulka dvou vstupních proměnných pro funkce OR, NOR, AND, NAND a XOR .....	31
Tab. 1.3 – Pravdivostní tabulka funkce M .....	34
Tab. 3.1 – Pravdivostní tabulka chodu M18.....	58

# ÚVOD

Předmětem této diplomové práce je návrh automatické výrobní linky, pro který bude vytvořena kompletní technická dokumentace (návrh rozvaděče) a řídicí program pro PLC.

V práci je věnována pozornost PLC (je přiblíženo cyklické vykonávání programu, práce se vstupy a výstupy automatu, programovací jazyky) a dalším důležitým tématům pro práci s PLC.

Navrhovaná linka byla tvořena s cílem vytvoření nástroje pro usnadnění přepravy cívek mezi pracovními stanovišti. Linka přepravuje palety s naformovanými cívkami na pracoviště navíjení primárního vedení podle druhu cívky na pracoviště kabelové nebo cívkové. Linka je spouštěna pomocí ovládacího panelu na stanovišti formování cívek, ze kterého se palety posílají k dalšímu zpracování. Informaci o pohybu palet po lince sledují optické snímače přítomnosti. Válcové i řemenové dopravníky jsou poháněny elektromotory. „Křižovatka“ je ošetřena indukčním snímačem přítomnosti, který podle přítomnosti či nepřítomnosti kovu rozezná druh palety. Pneumatický pohon poté přesune závoru do polohy pro zpřístupnění patřičné cesty.

Signály z čidel jsou přivedeny přes rozvaděč do automatu Modicon M258, který následně ovládá elektrické motory pohánějící linku a pneumatický pohon určený k vyhrazení cesty. Program tohoto automatu je vytvořen v SoMachine za využití programovacího jazyka CFC. Při simulaci funkčnosti programu, za pomoci vytvořené vizualizace, je poměrně přehledně demonstrována funkčnost programu. Při aktivaci jednotlivých čidel, reprezentovaných ve vizualizaci tlačítky, je v tomto grafickém jazyce krásně vidět funkce programu, změna jednotlivých vstupů a výstupů hradel.

# 1 TEORIE PLC A AUTOMATIZACE

Úvodní kapitola je věnována teoretickému popisu automatizační techniky a měla by čtenáře seznámit především s PLC (co to PLC je, jak se programuje, atd.).

## 1.1 SLOVO NA ÚVOD

Automatizační technika v dnešní době není něčím unikátním a vzácným. Prošla značným vývojem co se součástkové základny týče, k rozvoji došlo i v oblasti navrhování automatických systémů. PC a systémy pro navrhování a testování řídicích systémů jsou dnes zcela běžné.

Pod pojmem automatizace se tedy dnes neskrývají jen drahé a unikátní výrobní linky a řízení náročných technologických procesů (např. vaření cukru). Kvalitní a inteligentní řízení je dostupné pro obyčejné stroje a technologická zařízení ve všech oborech. Automatizační technika je často využívána v technice budov (inteligentní domy) a přináší majitelům značné úspory. V dnešní době bychom již jen obtížně hledali obor, kde není automatizační technika využita.

S tím, jak jsou technické prostředky (mikrořadiče apod.) stále dostupnější, přichází člověk s automatizační technikou do kontaktu, aniž by si to mnohdy uvědomoval, třeba v automobilech, pračkách, sporácích, holicích strojcích i dětských hračkách (Šmejkal, 2002).

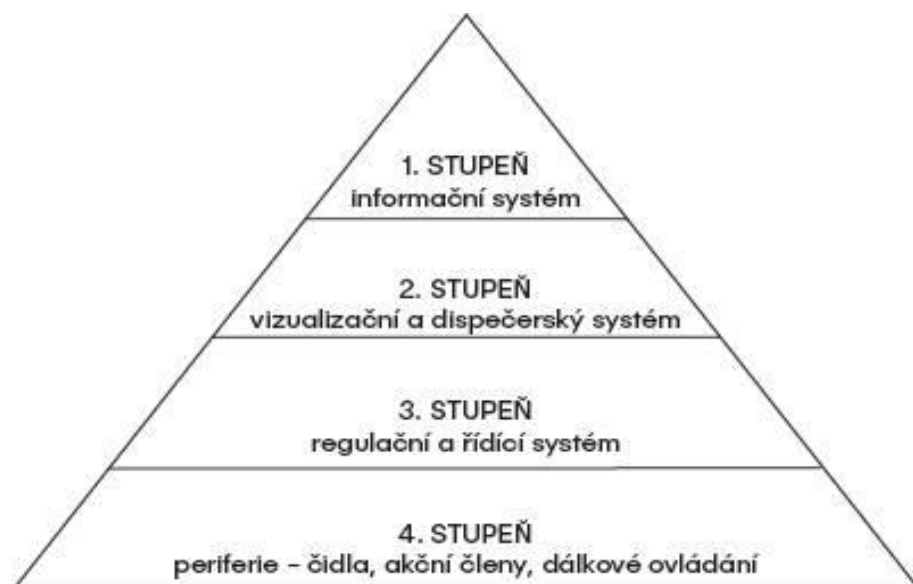
### 1.1.1 Výpočetní technika v automatizaci

Velmi významnou součástí automatizační techniky je výpočetní technika. PC jsou v dnešní době naprosto běžnou součástí našeho života a velké využití mají i v automatizačních systémech. Standardně se využívají jako vybavení velínů a operátorských stanovišť, ale uplatnění mohou najít také jako pracoviště pro servis a seřizování, dále pro monitorování technologického procesu a jeho dokumentování (např. počet vyrobených cívek jednou směnou a zmetkovost těchto kusů), pro dokumentování zásahu obsluhy. S vyspělou technikou se setkávají v podstatě všichni zaměstnanci, počínaje obslužným a servisním personálem, přes technology, ekonomy a právníky.

Někdy je PC nasazeno pro přímé řízení technologických procesů, často umístěno přímo v technologii. Toto řešení není příliš vhodné, PC patří do kategorie spotřební elektroniky a je konstruován pro použití v domácnostech, laboratořích nebo kancelářích, kde není vystaven drsným průmyslovým podmínkám. V těchto podmínkách často selhává, problém je rovněž

s připojením většího počtu vstupně výstupních vodičů. K řízení technologických procesů se proto používají PLC.

Neodmyslitelnou je pro automatizaci také komunikační technika. Samozřejmostí je propojování PC do sítí a jejich připojení k internetu. Komunikace je nutná i pro spojení řídicích systémů s periferiemi. Existují dva přístupy integrace a distribuovanost. Integrované systémy vznikají sdružením dosud samostatných řídicích systémů. Integrované systémy vznikají tak, že do informačních počítačových sítí je připojen počítač, který sloužil jen pro potřeby řízení, velíny a monitorovací systémy. Sdružují (integrují) se tak informační a řídicí systémy. Do sítí jsou zapojeny i řídicí systémy nižší úrovně, které dosud pracovaly nezávisle. Spojení mívá více úrovní, příkladem může být rozvrstvení ve čtyřech úrovních na obr. 1.1.



Obr. 1.1 – Hierarchie uspořádání řídicího systému

Obvykle se používá pyramidové znázornění, kde na 4. (nejvyšší) úrovni bývá podnikový systém (PC nebo počítačová síť). Nižší úroveň obsahuje další PC, určený k vizualizaci a dokumentaci procesů nebo k ovládání a řízení. Ve druhé úrovni se nachází klasické řídicí prvky (PLC a regulátory). Nejnižší úroveň obsahuje inteligentní periferie, např. pohony, akční členy, senzory.

Integrované řídicí systémy bývají rozlehlé, mnohdy jsou při řízení sdružovány různorodé technologické procesy. V objektech výrobních firem bývají připojeny jak řídicí systémy pro řízení výroby (výrobní systém strojírenského podniku s obráběcími stroji), tak i systémy pro řízení inteligentní budovy (úspora energie v kanceláři).

Distribuované systémy jsou také založeny na komunikaci a bývají realizovány víceúrovňově. U těchto systémů však funkce, které tradičně provádí jeden řídicí systém (modulární PLC), realizuje soubor podsystémů. Každý z podsystémů má svůj lokální problém a své kompetence, s kterými tento problém řeší. Podsystémy jsou propojeny komunikační linkou a předávají si mezi sebou informace týkající se společného fungování systému (Šmejkal, 2002).

### **1.1.2 Operátorské rozhraní**

Operátorské rozhraní do značné míry určuje vztah člověka k danému systému, jelikož zajišťuje komunikaci člověk - stroj. Výsledné rozhraní má vliv na psychickou zátěž obsluhujícího, chybovost jeho zásahů a na celkovou provozní spolehlivost. Čím více lidí se dostává do styku s automatizační technikou (její rozšiřování), tím větší jsou kladeny nároky na operátorské rozhraní. Ne každý uživatel (obsluhující) je technik, každé pracoviště má své zvyklosti a předpisy, každý uživatel má jiné nároky na zařízení a jeho obsluhu. Někdo dává přednost klasickému ovládání pomocí tlačítek, přepínačů a signálů, jiný raději komunikuje s PC. Pro někoho mohou být nadbytečné informace matoucí a mohou obsluhu zneklidňovat, další se naopak bez těchto informací cítí nekomfortně. Je vidět, že řešení operátorského rozhraní je jen z části technický problém, určitou měrou se jedná i o problém psychologický a diplomatický.

Vztah personálu k výslednému rozhraní často ovlivňuje úspěšnost celého projektu (často velmi nákladného). Obsluhující, který systém nepřijme, si snadno odůvodní, že je dané rozhraní nanič, nikoli on sám. Důvodů k takovému chování může být spousta, pohodlnost, staromilství, nepružnost myšlení obsluhy nebo nutnost jeho rekvalifikace, ale také strach z chybného zásahu nebo i také proto, že byl systém špatně navržen, či nějaká jeho část zůstala nedokončena.

Velkou výhodou je, pokud obsluha získá k danému systému kladný vztah. Například pokud systém usnadní práci, přinese zvýšení platu, vhodné může být také zapojit obsluhujícího a akceptovat připomínky a nápady tohoto pracovníka do vývoje prostředí (cítí se být spoluautorem). V takovýchto případech je uživatel ochoten tolerovat občasné chyby, a dokonce i spolupracovat na jejich odstranění.

V dnešní době se pro operátorské rozhraní používají dotykové panely nebo pracoviště s PC. Starší řešení, které spočívalo v osazení dveří rozváděče nebo krytu stroje souborem tlačítek, přepínačů a signálů je už překonané (drahé) a příliš se nepoužívá. Úplné odmítání

těchto „klasických“ ovládacích prvků je však chybné. Použití těchto prvků může předepisovat norma (CENTRAL STOP) nebo si je vyžadují zvyklosti na pracovišti (dělník v silných rukavicích pohodlněji pracuje s tlačítkem nebo přepínačem než s dotykovým panelem). Optimální je kombinace tradičních prvků s moderními operátorskými panely nebo s PC (Šmejkal, 2002).



Obr. 1.2 – Klasické ovládací prvky (signálky a přepínač)



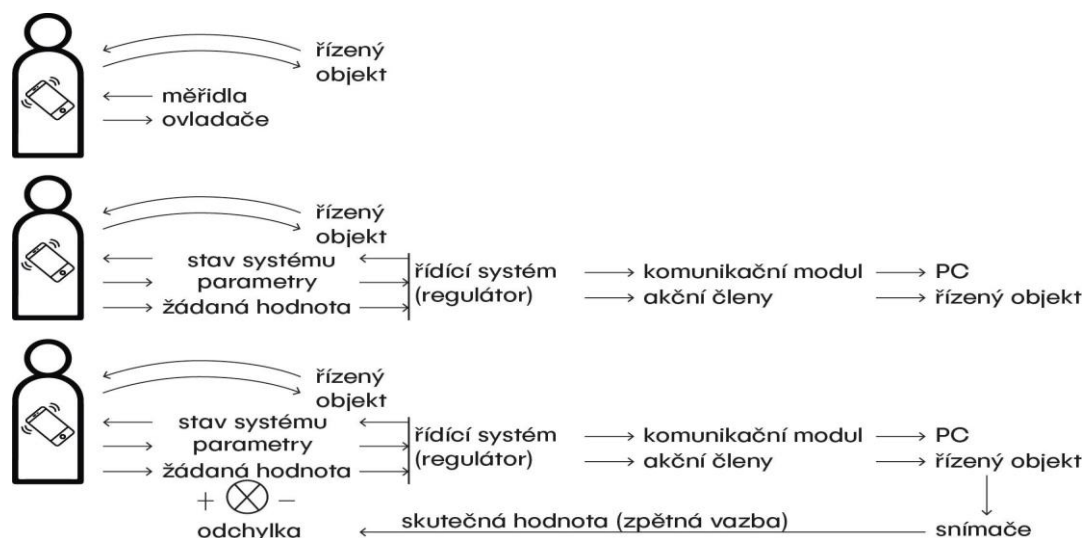
Obr. 1.3 – Dotykový programovatelný panel (Šmejkal, 2018)

### 1.1.3 Bezpečnost a spolehlivost

Automatizační technika se používá především proto, aby sloužila spolehlivě (bezporuchově). Proto jsou PLC konstruovány pro průmyslové využití, tedy s ohledem na maximální spolehlivost a odolnost vůči rušení. Jeho poruchovost bývá zanedbatelná, většinou se pohybuje pod úrovní běžných akčních členů nebo snímačů. Stále je však třeba mít při projektování na paměti bezpečnostní zásady a doporučení, jejich ignorování by mohlo způsobit zhoršení spolehlivosti nebo zkrácení životnosti celého automatizačního systému. Nejčastějšími zdroji poruch jsou: uvolněné spoje, vydření, zadření, ucpání, změna parametrů, stárnutí a opotřebení. Mnohdy je příčinou selhání lidský faktor: únava, nezvládnutí náročné situace, neznalost, nedbalost nebo vliv alkoholu. Vyskytnout se mohou také případy, kdy k poškození dojde záměrně: vandalství, nechť k práci nebo také snaha o prodloužení záruky (Šmejkal, 2002).

## 1.2 PLC

PLC neboli Programmable Logic Controller, je uživatelsky programovatelný automat navržený pro řízení průmyslových a technologických procesů. Dříve specializovaný především na úlohy převážně logického typu.



Obr. 1.4 – Principiální schéma způsobů řízení (ruční, dopředné a zpětnovazební)

Při ručním řízení je vše na člověku, pracovník vyhodnocuje data z měřicích členů a dle potřeby zasahuje do chodu procesu. K řízení za pomoci PLC jsou možné dva přístupy. Při dopředném řízení řídící jen ovládá určitý objekt, nemá zprávy o dosažení stavu, systém a objekt mezi sebou mají pouze akční členy. U zpětnovazebního řízení máme informaci o stavu řízeného

objektu, mezi řídicím systémem a objektem se nacházejí snímače. Příkladem takového řízení může být například silo s obilím, pokud je silo plné, snímač upozorní řídicí systém a ten vypne pás plnící silo. Do praxe uvedený program je většinou kombinací všech tří přístupů.

Jednou z hlavních výhod PLC je rychlá realizace. Není potřeba vyvíjet technické vybavení, stačí vybrat vhodnou konfiguraci pro daný projekt. Další výhodou je odolnost. Automaty jsou navrženy do extrémních podmínek v průmyslu, jsou odolné vůči poruchám a rušení. Bývají vybaveny také diagnostickými funkcemi, které průběžně kontrolují správnou funkčnost systému.

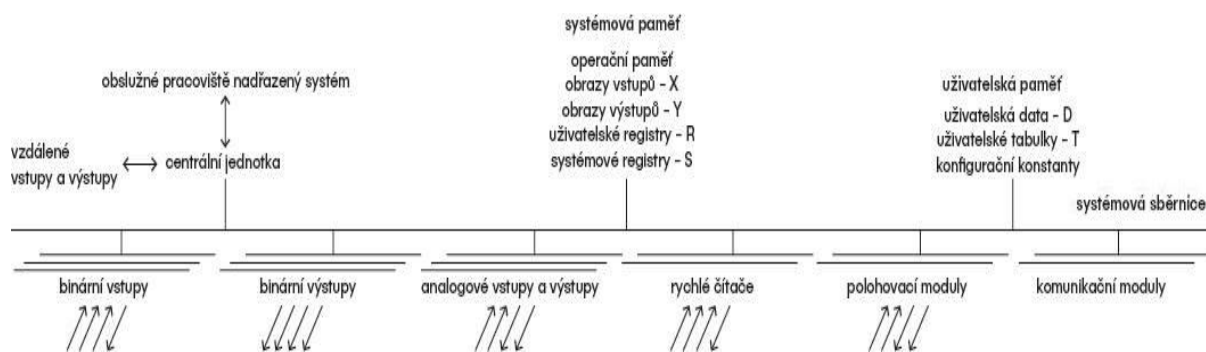
Žádný systém se při uvedení do provozu nevyhne změnám. Na vině může být nedokonalý návrh, kde si projektant na papíře neuvědomí všechny souvislosti. Viníkem může být také nepřesné zadání, do kontaktu s projektem přichází lidé, kteří se zadáním nepřišli do styku (obsluha, operátor, energetici atd.). A na místě je potřeba návrh na základě těchto podnětů změnit. U řídicích systémů s pevnou logikou je takovýto zásah zdrojem velkých problémů. Při použití automatu většinou stačí zásah do programu, v případě nutnosti rozšíření systému je PLC doplněno o patřičný modul, možností je také využití jiného PLC jako podsystému. Takto upravený systém je potřebné znovu důkladně otestovat.

Programování PLC není rozhodně bezproblémové a snadné. Nemělo by vyznít, že program je upraven během pár vteřin za pomoci několika kliknutí myši. Práce s programem nese vždy nějaká rizika. Záleží především na složitosti programu, jak přehledně byl vytvořen, zda ho upravuje stejný programátor, jak dobře se daný programátor orientuje v daném programovacím jazyku atd. I přesto je úprava programu a práce s automatem výrazně jednodušší a finančně výhodnější než práce s pevnou logikou (Šmejkal, 2002).

### **1.2.1 Konfigurace PLC**

Schématické naznačení na obr. 1.5 je pouze orientační, konfigurace PLC se volí vždy tak, aby co nejvíce vyhovovala určené úloze. Pro logickou úlohu je například zbytečné mít moduly analogové, a naopak při úloze čistě spojitě je zbytečné připojovat vstupy binární.

Mohou se však vyskytnout i případy, kdy je automat využit pouze pro měření (jen vstupní moduly). PLC může vyhodnocovat signály ze snímačů sledujících určitou technologii a analyzovat nebo předávat výsledky do PC. Opačně může být PLC samozřejmě taky využito čistě jako výstupní systém bez vstupních modulů. V takovémto případě může řídit automat například segmentové zobrazovače, ovládat pohony, akční členy, u kterých není třeba kontrola splnění stavu.



Obr. 1.5 – Schéma vnitřní struktury PLC

### Mikro PLC

Nejmenší a nejlevnější varianta programovatelného automatu. Pevná sestava vstupů a výstupů, která nejde rozšířit, je vhodné počítat s možným rozšířením systému a mít určitou rezervu v počtu vstupů a výstupů. Vhodné pro jednoduché aplikace, jako je ovládání zavlažování na chatě apod. Funkční a programové vybavení je omezeno na nezbytné věci. Často chybí komunikační možnosti (propojení s jiným automatem není možné). I přes omezené možnosti použití se díky své ceně dá považovat za užitečný nástroj.

### Kompaktní PLC

Tyto automaty mají také pevnou strukturu vstupů a výstupů, nabízejí však alespoň částečnou variabilitu ve volbě konfigurace. Je možné k základnímu modulu připojit jeden nebo několik přídatných modulů z omezeného sortimentu s pevně daným počtem vstupů a výstupů. Některé automaty se vyznačují i vnitřní modulárností, kdy konfiguraci základního modulu lze sestavit nasunutím vhodných modulů na základní desku (piggyback).

### Modulární PLC

Tyto automaty nabízejí nesrovnatelně větší volnost ve volbě výsledné konfigurace. Rozšiřovací moduly mohou být připojeny na vzdálenost až stovky metrů, místo rozšiřujících modulů lze připojit i podsystémy. Takto lze tvořit různě strukturované distribuované systémy. Nemá cenu zde vyjmenovávat varianty rozšiřujících modulů, v případě zájmu stačí nahlédnout do katalogů známých výrobců PLC (např. Schneider, Siemens, ABB, a Mitsubishi). Pro tento druh PLC je důležitá schopnost komunikovat se vzdálenými moduly, podsystémy operátorskými panely a jinými inteligentními zařízeními třeba PC (Šmejkal, 2002).

### Analogové vstupy a výstupy

Slouží ke zpracování spojitých signálů. Jedná se o složitější řešení než u digitálních signálů, výhodou je spojitá informace o stavu hodnoty, kterou nelze vyjádřit dvoustavovým

signálem. Spojité měření se využívá především pro fyzikální veličiny (teplota, poloha, vlhkost, tlak atd.), které lze převést na elektrické měření (napětí a proud). Výstupní signály mohou být využity k řízení rychlosti, nastavení regulačního ventilu, polohy klapky atd.

Analogové vstupy převádí za pomoci A/D převodníku, spojitě elektrické signály ze snímačů na diskrétní číselně vyjádření jeho hodnoty. Snímání veličin jako tlak a teplota je prováděno senzorem, který informaci o těchto veličinách převádí na elektrický signál (napěťový, nebo proudový).

Analogové výstupy převádí číselnou hodnotu, se kterou pracuje PLC, na elektrický spojitý signál, který je možné použít k řízení procesů za pomoci vhodných akčních členů, jako např. řízení rychlosti motorů a nastavení polohy ventilu.

Rozsah analogových signálů bývá standardně buď unipolární (pouze kladné hodnoty) nebo bipolární (kladné i záporné hodnoty) napětí, (0 ... 10 V, -10 V ... +10 V) a proud (0 ... 20 mA, 4 ...20 mA, -20 mA ... +20 mA).

### **Digitální vstupy a výstupy**

Jsou jednodušší než analogové periferie. Slouží ke zpracování dvoustavových signálů (log. 1 a log. 0).

Tyto vstupy převádí vnější signály z dvouhodnotových snímačů (koncové, snímače přítomnosti), stavy z tlačítek a přepínačů, na signály vhodné pro zpracování v PLC. V závislosti na typu a provedení mohou pracovat vstupy PLC s vnějšími signály v rozsahu 0 – 5 VDC, 0 – 12 VDC, 0 – 24 VDC (standard).

Jednička a nula mají vždy nastaven rozsah, např. jednička (18 – 24 VDC) a nula (0 – 5 VDC). Tyto hraniční hodnoty, kdy je signál v blízkosti horního nebo dolního rozsahu signálu, se udávají v technické specifikaci. Pokud se signál nachází mezi těmito hodnotami, není zaručeno, kterou jeho konkrétní velikost periferie vyhodnotí jako jedničku nebo nulu, tedy jedná se o hazardní stav.

Výstupy slouží k ovládání relé, stykačů a indikaci. Výstupní signály bývají standardně 24 VDC, se zátěží maximálně 0,5 A. V případě potřeby spínání vyšší zátěže jsou k dispozici rozšiřující výkonové periferie nebo bezpotenciální výstupy. Výstupní signál má definovány stavy jedna a nula, hazardní stav, který hrozí u vstupních signálů je zakázán (Štach, 2018).

### **Rychlé čítače a polohovací moduly**

Některé PLC disponují i moduly pro rychlé čítání a měření polohy. S jejich pomocí lze vyhodnocovat rychlé sledy impulzů. Moduly pro rychlé čítání nacházejí uplatnění v úlohách geometrického charakteru. S těmito moduly může realizovat obdobné úlohy jako CNC stroje.

### **Speciální a inteligentní moduly**

Do této kategorie patří komunikační moduly, adaptéry a modemy pro různá rozhraní a různé typy přenosů. Paměťové moduly rozšiřující kapacitu paměti pro program či zálohování obsahu, časový obvod, který určuje čas a datum, se kterými může automat také pracovat. Svorkovnicové moduly usnadňující práci při zapojování.

#### **Počítačový modul**

Již několikrát byla zmíněna komunikace PLC s PC, proto je třeba počítačového modulu, v němž jde standardními počítačovými prostředky řešit netypické úlohy pro PLC (grafické úlohy, zpracování a archivace většího množství dat apod.).

#### **Inteligentní systémy**

Za zmínku stojí také kompaktní výrobky. Sdružují v sobě funkci PLC a operátorského panelu. Tyto výrobky nejsou řazeny ani mezi PLC, ani k operátorským panelům a jsou nazývány „inteligentní“ nebo „programovatelné“. Odborná literatura uvádí, že integrace funkcí a výhodný poměr cena/výkon poskytuje těmto systémům široké množství uplatnění. Avšak u spousty těchto kompaktních je jediné smysluplné využití operátorského panelu při odečítání údajů z obrazovky. Využití operátorského panelu k ovlivnění nebo dokonce úpravě programu je značně neefektivní a práce s ním je časově a psychicky náročná (Šmejkal, 2002).

## **1.2.2 Programové vybavení PLC**

### **Programovací jazyky PLC**

PLC nezávisle na výrobci nabízí několik druhů programovacích jazyků, které si jsou u různých výrobců podobné, ale nikoliv stejné. Přenositelnost programů mezi PLC různých výrobců není možná, mezi různými PLC od stejného výrobce většinou programy přenášet jdou.

#### **Jazyk mnemokódů**

Nezákladnější programovací jazyk označován jako IL Instruction list. Tento jazyk se podobá programování mikrokontrolerů v Asembleru (ASM) a je také strojově orientován. Tedy každé instrukci PLC odpovídá stejně pojmenovaný příkaz v IL. Program je v podstatě posloupnost jednoduchých operací, tvořených základními instrukcemi (např. ADD pro sečtení dvou hodnot apod.) a operandy, jež reprezentují jednotlivé registry a paměťová místa. Přehledný způsob programování, který umožňuje přizpůsobit program možnostem PLC. Tento způsob programování se projeví na velikosti a rychlosti programu.

Pro složitější programy není příliš vhodný, zápis se stává nepřehledným a pro práci je nutné znát velké množství příkazů. Vhodný pro zkušené programátory.

**Výhody:**

- přesná definice chování programu,
- úsporný program.

**Nevýhody:**

- vyžaduje znalost a orientaci v příkazech a registrech,
- horší přehlednost programu a orientace v něm.

**Ladder Diagram**

LD (německy Kontaktplan) je grafický programovací jazyk reléových schémat. Program odpovídá obvyklé formě pro kreslení reléových schémat (symboly jsou zjednodušeny). Spínací kontakty jsou značeny jako dvojice svislých čárek, rozpínací kontakt je navíc přeškrtnut lomítkem, cívka je zaznačena jako dvojice závorek. Funkční bloky pro čítače, časovače apod. mají své obdélníkové značky a ostatní instrukce (nemají analogii v kontaktní logice) se značí jako dvojice závorek s vepsaným mnemokódem instrukce.

LD je přehledný pro malé logické operace, s narůstající složitostí programu se stává nepřehledný. Vhodný pro personál, který se příliš nevyzná v klasickém programování (silnoprůdaři). Využití nachází při rychlém servisu, nalezení závady na stroji je se zvýrazněním vodivé cesty otázkou několika minut.

**Výhody:**

- přehlednost zápisu (zvláště u menších programů),
- velmi rychlé programování logických operací s funkcemi čítání a časování,
- vhodné pro zpracování velkého počtu logických signálů.

**Nevýhody:**

- méně vhodný pro aritmetické operace a práci s daty,
- s rostoucí složitostí programu rychle narůstá jeho délka,
- hůře pochopitelný pro „klasické programátory“.

**Jazyk logických schémat**

Jazyk funkčních bloků je opět grafický, logické operace mají obdélníkové značky, výška obdélníku závisí na počtu vstupů. Značky mají i ucelené funkční bloky, čítače, časovače, paměťové členy ale i aritmetické instrukce. Tento jazyk ocení především uživatelé zvyklí na kreslení logických schémat.

Jazyk logických schémat má dva poddruhy. Prvním je CFC - Continuous Function Chart (Volně propojované bloky). V CFC je k dispozici volná plocha, kam se volně vkládají jednotlivé bloky reprezentující jednotlivé funkce. Tento jazyk je ideální pro části programu

(podprogramy) zpracovávající současně analogové i logické signály. Při správném rozvržení plochy může být menší program velmi dobře přehledný. Vhodný pro sledování postupu signálu od vstupu k výstupu. Při složitějších zapojení se přehlednost výrazně snižuje.

**Výhody:**

- zápis připomíná hardwarové schéma zapojení součástek pevné logiky,
- snadná realizace jednoduchého zpracování analogových signálů,
- přehledný průchod signálu programem při zpracování,
- přehledná realizace zpětných vazeb.

**Nevýhody:**

- pro složitější programy se zápis stává nepřehledný,
- nevhodný pro realizaci manipulace s většími bloky dat a ASCII řetězci.

Naproti tomu FBD - Function Block Diagram (Schéma funkčních bloků) je lineární. Hradla nejsou propojována po volné ploše, ale jsou organizována do řádků podobně jako u LD. Je to v podstatě LD režim, kde se u logických operací místo sériově-paralelního zapojování symbolů kontaktů relé využívá klasických značek hradel AND, OR apod. U některých výrobců se může pod zkratkou FBD najít režim CFC tedy volně propojené bloky.

**Výhody:**

- definované grafické členění programu do řádků (přehlednost),
- ideální pro zpracování velkého počtu logických signálů.

**Nevýhody:**

- méně vhodný pro složitější zpracování analogových signálů,
- nevhodný pro hromadnou manipulaci s velkým množstvím dat a ASCII znaky,
- méně vhodný pro programování složitých algoritmů.

**Jazyk strukturovaného textu**

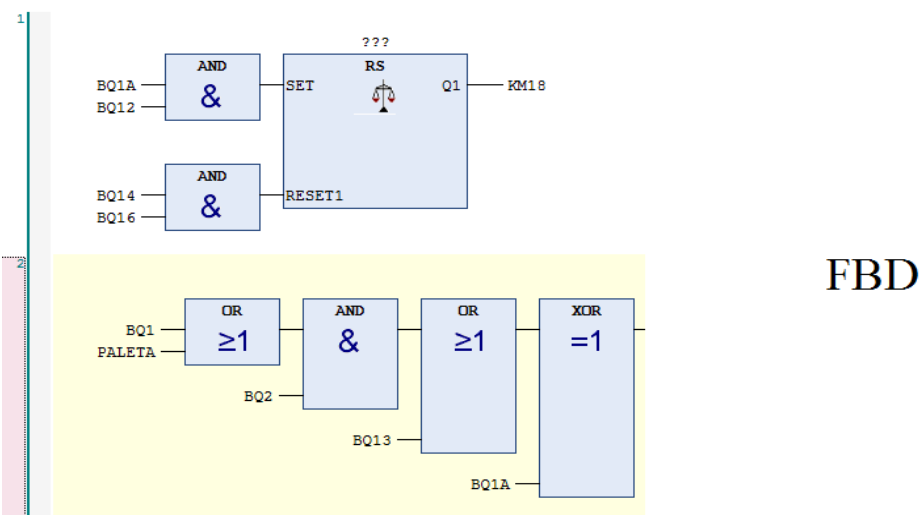
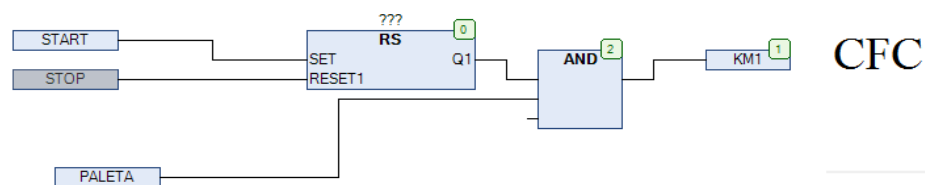
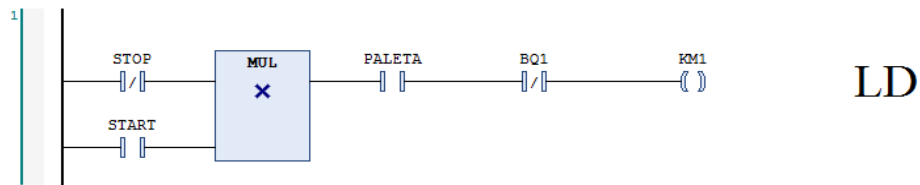
ST neboli Structured Text je obdobou programovacích jazyků pro PC, jako je např. C. Tento jazyk umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů. ST je ideální pro práci s daty, řetězci a pro naprogramování složitých výpočetních algoritmů (Vojáček, 2011).

**Výhody:**

- Velmi přehledný zápis chování programu,
- přehledné definování a ošetření různých stavů programu,
- ideální pro realizaci sekvenční logiky,
- vhodný pro jednoduchou práci s ASCII řetězci,

### Nevýhody:

- nevhodný pro přímou realizaci zpracování analogových signálů,
- nevhodný pro zpracování velkého počtu logických signálů.



Obr. 1.6 – Grafické programovací jazyky PLC

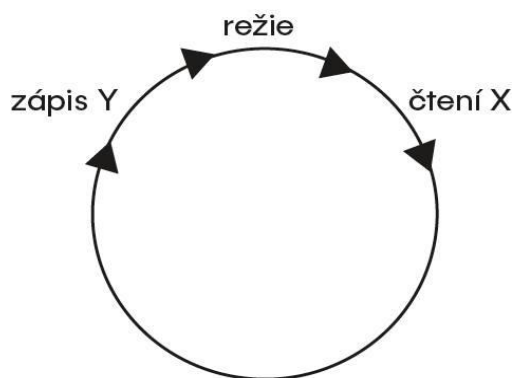
### 1.2.3 Vykonávání programu PLC

Program PLC je posloupnost instrukcí a příkazů jazyka, která je vykonávána cyklicky. Systémový program vrátí vždy na konci každého cyklu jeho vykonávání zpět na začátek. Příliš dlouhé setrvání programu v programové smyčce je chybou a dochází k hlášení chyby překročení doby cyklu.

Po vykonání poslední instrukce uživatelského programu je předáno řízení systémovému programu, který provede otočku cyklu. V ní nejprve aktualizuje hodnoty výstupů a vstupů,

hodnoty dosud uložené jen jako obrazy výstupů (registr Y) přepíše do registrů výstupních periferních modelů a hodnoty ze vstupních modulů okopíruje do paměťových obrazů vstupů (registry X). Dále jsou aktualizovány časové údaje, je ošetřena komunikace a provedena řada režijních úkolů. Po otočení cyklu je předáno řízení opět první instrukci uživatelského programu.

Vykonání programu v cyklu je vidět na obr. 1.7. Nejdříve jsou v režijní části na výstupy vyslány aktuálně vyčíslené hodnoty výstupů Y. Poté jsou provedeny režijní operace systému a časových proměnných. Na závěr jsou přečteny aktuální hodnoty fyzických vstupů, které jsou v následujícím cyklu uloženy jako obrazy vstupů X.



řešení uživatelského programu

Obr. 1.7 – Cyklické vykonávání programu PLC

Z výše uvedeného vyplývá, že PLC nepracuje s aktuálními hodnotami vstupů a výstupů, ale s jejich obrazy uloženými v paměti. Aktualizace těchto hodnot probíhá pouze ve fázi otočky cyklu, to zajistí synchronizaci vstupních a výstupních dat v běhu programu. Tímto je omezena možnost chyby způsobené nevhodným souběhem vstupních a výstupních hodnot. Po dobu cyklu jsou zastaveny také další systémové proměnné a časové údaje.

### **Soubor instrukcí a centrální jednotka automatu**

Centrální jednotka PLC je mozkem automatu. Zajišťuje realizaci souboru instrukcí a systémových služeb, dále zajišťuje komunikační funkce s moduly, podsystémy a nadřazenými systémy. Paměť této jednotky je dělena na části, první část obsahuje uživatelský program. Obsah této části paměti se nemění během vykonávání programu. Ve druhé části, takzvané operační, se nachází uživatelské registry, čítače, časovače, obrazy vstupů a výstupů časové a jiné systémové proměnné. Jak bylo uvedeno již výše, obsah této části paměti se během provádění programu mění. Jsou cyklicky ukládány nové obrazy vstupů apod. Součástí centrální jednotky bývá mikroprocesor, který má za úkol rychlé provádění instrukcí. Systémový program (program tohoto mikroprocesoru) realizuje všechny funkce, které daný automat nabízí

k dispozici. Typicky se používá instrukcí a příkazů jazyka programovatelného automatu, jen výjimečně nabízí PLC uživateli možnost programování na úrovni instrukcí mikroprocesoru.

Jak bylo zmíněno v části programovacích jazyků pro PLC, automaty nahrazovaly pevnou logiku, proto jsou v každém PLC instrukce pro logické operace s bitovými operandy (OR, AND, NOT, XOR a jiných kombinačních logických funkcí, nechybí ani instrukce pro paměťové členy či klopné obvody). Tímto však výčet instrukcí pro PLC nekončí, samozřejmě jsou instrukce aritmetické (sčítání, odčítání, někdy také práce s řádovou čárkou), logické operace s číselnými operandy (paralelní práce s operandy v délce slova nebo i delšími), instrukce pro přenos dat a instrukce pro organizaci programu (skoky v programu apod.).

Některé PLC obsahují i tzv. specializované instrukce. Tyto instrukce jsou velmi výkonné a umožňují realizovat komplexní operace např. realizaci regulátoru. Díky tomu, že nabízejí hotové a ucelené funkce, velmi usnadňují programování, zároveň zvyšují požadavky na výpočetní výkon PLC (Šmejkal, 2002).

### 1.3 KOMBINAČNÍ FUNKCE

Booleova algebra je základní nástroj pro různé metody návrhu a následné minimalizace logického systému, hlavní slovo měla v době, kdy se používala pevná logika. S rozvojem výpočetní techniky využívání této metody upadlo (zaměření na klasické programování). Je to škoda, neboť se jedná o silný nástroj ke zefektivnění práce.

Metody návrhu se příliš neliší v závislosti na tom, zda je navrhován systém s pevnou logikou nebo programováno PLC. Nutnost realizovat logické funkce nezmizela, pouze se změnila z nutnosti návrhu pevné logiky k programování řídicího softwaru.

Základní pojmy k problematice kombinačních funkcí.

#### **Logická proměnná**

Veličina nabývající dvou hodnot logické 1 a 0, analogie s výroky true a false. PLC klasicky rozlišuje vstupní, výstupní a vnitřní proměnné. Logická proměnná je abstraktní pojem, u které nás zajímá pouze její pravdivostní hodnota. Ke značení logických proměnných se většinou používají písmena a, b, c atd. Pro vstupy většinou  $x_1, x_2, x_3$  a pro výstupy  $y_1, y_2, y_3$ .

#### **Adresy proměnných**

Programovací jazyky PLC umožňují absolutní pojmenování proměnných. Například  $x_{4.3}$ , význam tohoto zápisu je následující číslo „byte.pozice“ bitu v byte z prostoru obrazu vstupů.

Programovací jazyky většiny PLC umožňují dát jednotlivým proměnným symbolická jména. Výhodné je využívat přímo fyzikální význam proměnné, její umístění, pojmenování události nebo situace, při které je pravdivá. Logicky je výhodnější pojmenovat si proměnnou motor\_5, kdy víme, že se jedná o pátý motor, než pojmenování Ondřej\_2, kdy nevíme, co proměnná zastává.

### **Binární signál**

Fyzikální veličina, která je nosičem logické proměnné. Logický signál mají např. dvoustavové snímače, těleso je přítomno (1), není přítomno (0). Binární signál nachází využití také u ovládání akčních členů, spínání cívek stykačů, elektromagnetických spojek apod.

Je snaha pracovat s jednotnými úrovněmi logických signálů (snazší projektování). PLC nejčastěji pracují s napěťovými úrovněmi 0 V (0) a 24 V (1). Modulární PLC však mohou být rozšířeny o moduly pracující s úrovněmi 0 V a 5 V, 0 V a 12 V, 0 V a 48 V, 0 V a 110 V nebo 0 V a 230 V. Obdobné to je u výstupních signálů, ty jsou voleny s ohledem na dostatečnou proudovou zatížitelnost, aby mohly ovládat běžné akční členy.

### **Kladná záporná logika**

V případě, že nulový signál označujeme (0) a nenulový signál (1), mluvíme o kladné logice. Pochopitelně záporná logika označuje signály opačně, tedy nulový signál (1) a nenulový (0).

### **Tolerance logických signálů**

Výše uvedené úrovně logických signálů jsou ideální v reálných podmínkách. Pracuje se s tolerančními pásy okolo těchto ideálních hodnot. Pro spolehlivý chod logického systému je třeba zajistit, aby jeho signály vždy nabývaly předepsané hodnoty těchto pásů. V případě výskytu hodnoty v oblasti mezi těmito pásy (zakázané pásmo) nastává problém, tyto hodnoty mohou být nahodile vyhodnoceny jako (1) nebo (0). Informační hodnota tohoto signálu je nulová.

### **Bit**

Nejmenší jednotka informace s obsahem logické dvojkové číslice 1, nebo 0.

### **Logický vektor**

Je soubor logických proměnných, nejčastěji se mluví o vstupním a výstupním vektoru (soubor vstupních a výstupních proměnných) nebo o stavovém vektoru (soubor vnitřních proměnných, které ovlivňují stav systému). Proměnné tvořící vektor se nazývají složkami vektoru. Vektor se zapisuje jako soubor složek, které ho tvoří např.:

$$\mathbf{vektor\_x} = (x_0, x_1, \dots, x_j), \quad (1.1)$$

kde **vektor**<sub>*x*</sub> – logický vektor,  
*x<sub>j</sub>* – proměnné tvořící vektor.

Hodnota vektoru je označována kombinací jeho složek. Pracujeme-li, jak bylo uvedeno výše, s dvojkovou soustavou, pak je počet hodnot, které může vektor nabývat, závislý na počtu jeho složek. Vektor může nabývat maximálně 2<sup>k</sup> hodnot (k počet složek vektoru).

### **Datové objekty**

Při zpracování dat v číslicové technice se většinou nepracuje s jedním bitem, ale právě s vektory (skupiny bitů). Pro ty nejpoužívanější se ustálila jména - vektor o délce 8 bitů se nazývá byte. Pro vektor s délkou 12 bitů se zažilo označení word (slovo). Vektor s délkou 4 se využívá obvykle v zobrazovačích pro desítková nebo šestnáctková čísla.

### **Logická funkce**

Logická funkce je funkce, která pro konečný počet vstupních parametrů vrací hodnoty výstupní logické proměnné. Počet vstupních proměnných nemusí odpovídat počtu výstupních proměnných.

Kombinační funkce nezávisí na žádných časových parametrech ani stavech systému. Výstupní hodnoty závisí pouze na kombinaci hodnot vstupů.

Naproti tomu sekvenční funkce je v čase proměnná. Může se měnit v závislosti na čase nebo na splnění daných podmínek systému. Systém je popsán pomocí stavových proměnných. Stavová funkce jde popsat i kombinační funkcí, kde argumentem této funkce kromě vstupních proměnných jsou i stavové.

### **Výrok**

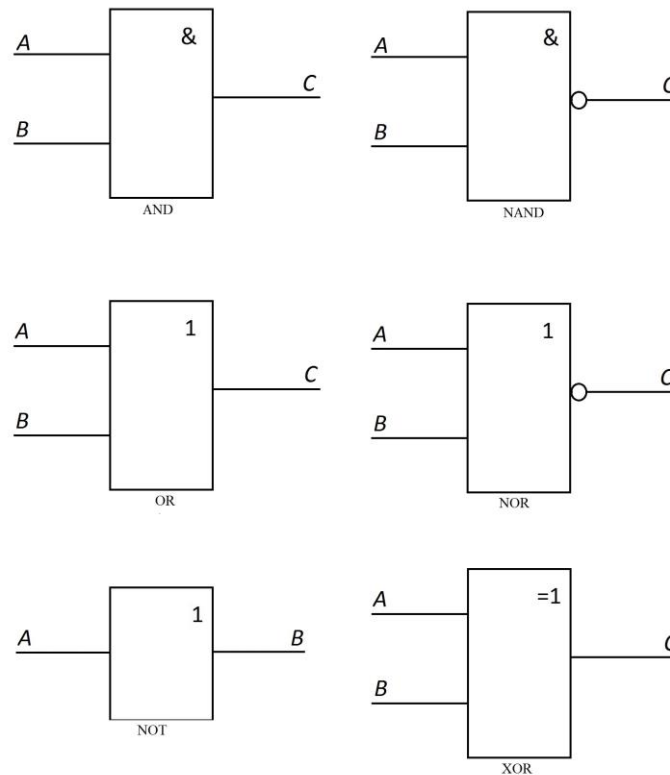
Je v logice dvojkové soustavy nějaké tvrzení, u kterého můžou nastat pouze dva stavy, tvrzení je pravdivé (1) nebo tvrzení je nepravdivé (0), není žádná jiná možnost. Výrok může být jednoduchý nebo složený.

Jednoduchý výrok je v podstatě vstupní logická proměnná, jednoduchý výrok je dále nedělitelný. Příkladem jednoduchého výroku může být například čidlo přítomnosti, kde výrok můžeme definovat jako otázku, „je objekt přítomen?“, na kterou je možné odpovědět buď ano, nebo ne.

Složený výrok se skládá z jednoduchých výroků, které jsme schopni rozlišit. Běžně jsou tyto výroky tvořeny za pomoci spojky, které svazují dílčí výroky (tyto spojky lze definovat jako logické funkce). Příkladem složeného výroku může být například, tlačítko start je stisknuto a současně běží motor č. 5 (AND) (Šmejkal, 2002).

### 1.3.1 Logické operátory

V této podkapitole budou rozebrány základní logické funkce, které se nejčastěji používají a s jejichž pomocí lze vytvořit libovolně složitou funkci.



Obr. 1.8 – Logická hradla

#### NOT

Logická funkce jedné proměnné, která obrátí logickou hodnotu vstupní proměnné. Má-li vstupní proměnná hodnotu (log. 0), pak bude výstup funkce roven (log. 1) a obráceně.

#### OR, NOR

Operátor OR je funkcí logického součtu (dvou a více proměnných) a je rovna (log. 1), právě tehdy, je-li alespoň jedna vstupní proměnná (log. 1). Funkce je rovna (log. 0), právě tehdy, jsou-li (log. 1) rovny všechny vstupní proměnné. Funkce NOR je OR s negovaným výstupem, tedy funkce je rovna (log. 1), pokud jsou všechny vstupní proměnné rovny (log. 0). Pokud je alespoň jedna vstupní proměnná rovna (log. 1), pak je výsledkem funkce (log. 0).

#### AND, NAND

Operátor AND je funkcí logického součinu (dvou a více proměnných), v případě že všechny vstupní proměnné jsou rovny (log. 1), pak je výstupem funkce (log. 1). V případě že alespoň jedna, či více, vstupních proměnných jsou rovny (log. 0), pak je výstupem funkce (log. 0). Funkce NAND

je AND s negovaným výstupem logické funkce (log. 0) v případě že jsou všechny vstupní proměnné rovny (log. 1), v případě že alespoň jedna vstupní proměnná nabývá (log. 0) pak je výsledkem funkce (log. 1).

### **XOR**

Operátor XOR se často nazývá exkluzivní OR. Jde o logickou funkci (dvou proměnných), která nabývá (log. 1) v případech, ve kterých každá vstupní hodnota nabývá unikátní hodnoty (liší se od ostatních). Tedy slouží k identifikaci, zda nastala jedna ze dvou podmínek. V případě že nastanou obě podmínky, nebo žádná je výsledkem (log. 0)

Příklady pravdivostních tabulek těchto operátorů jsou uvedeny ve sdružené pravdivostní tabulce tab. 1.2 (Šmejkal, 2002).

### **1.3.2 Pravdivostní tabulka**

Tato tabulka obsahuje každou kombinaci vstupních proměnných logické funkce, každá z těchto kombinací má přiřazenou hodnotu výstupní funkce. Většinou se využívá pro 2 až 6 vstupů, levá strana tabulky obsahuje vstupní logické proměnné a může obsahovat i index řádku (bývá značen čísly desítkové nebo šestnáctkové soustavy). Vstupní kombinace se zpravidla řadí od nejmenšího po největší číslo ve dvojkové soustavě. Hodnota tohoto čísla označuje pořadové číslo řádku.

Pravá strana obsahuje sloupec s výslednými hodnotami logické funkce. Někdy se přidává sloupec s poznámkami, v tomto se uvádí některé fyzikální významy jednotlivých řádků.

Tab. 1.1 – Pravdivostní tabulka funkce F (F nabývá logické 1 v případě, že alespoň 2 vstupní proměnné jsou rovny jedničce)

Index	a	b	c	F
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	1	1
7	1	1	0	1
8	1	1	1	1

### Sdružená pravdivostní tabulka

V případě, že je potřeba zadat více logických funkcí, které pracují se stejnými vstupními hodnotami, je zbytečné pro každou funkci vypisovat vlastní tabulku. Efektivnější je sloučit tabulky do jedné sdružené pravdivostní tabulky. Na levé straně této tabulky se nachází kombinace vstupních proměnných, na pravé straně následují sloupce daných logických funkcí.

Tab. 1.2 – Složená pravdivostní tabulka dvou vstupních proměnných pro funkce OR, NOR, AND, NAND a XOR

Index	a	b	OR	NOR	AND	NAND	XOR
1	0	0	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	0	1	1
3	1	0	1	0	0	1	1
4	1	1	1	0	1	0	0

### Pravdivostní řada

Úspornější zápis pravdivostní tabulky. Možným zápisem je sklopení sloupce pravdivostních hodnot do řádku, tento se označuje jako pravdivostní řada. Místo celé tabulky se tedy vypisuje jen pravdivostní řada. Poskytuje úsporu místa, přináší však také horší přehlednost, neboť nemáme zapsány kombinace vstupních proměnných. V argumentu funkce se uvádí vstupní proměnné v pořadí, v jakém by byly seřazeny v pravdivostní tabulce. Například funkce z tabulky č. 1.1 by jako pravdivostní řada byly zapsány takto:

$$F(a, b, c) = 0001011, \quad (1.2)$$

kde  $F$  – logická funkce,  
 $a$  – vstupní logická proměnná,  
 $b$  – vstupní logická proměnná,  
 $c$  – vstupní logická proměnná.

### Určení výčtu logické funkce

Pro určení logické funkce není třeba vypisovat všechny řádky pravdivostní tabulky, postačí ty, pro které nabývá výstupní funkce jedničkové hodnoty. Například funkce  $F$  by mohla být zapsána takto:

$$F(a, b, c) = 011,101,110,111. \quad (1.3)$$

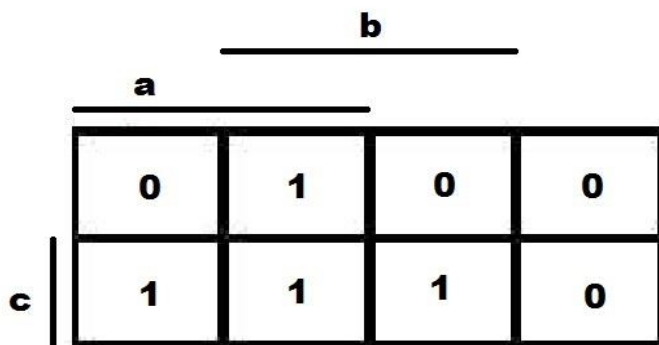
Platí stejné pravidlo jako u pravdivostní řady, vstupní argumenty musí být zapsány ve stejném pořadí, v jakém jsou v pravdivostní tabulce. Je možno místo vstupních kombinací vypsát pouze indexy daných řádků nebo vypsát kombinace, pro které je výstupní funkce rovna nule.

Použití výčtu je vhodné při práci s velkým množstvím vstupních proměnných (odborná literatura uvádí, že je vhodné využít jej při 6 a více vstupních proměnných). Typickým příkladem jsou poruchové signalizace. Například na přístroji je sledováno 6 faktorů a chyba je signalizována pouze v případě, že je splněno pět nebo šest těchto faktorů. V tomto případě by nás z pravdivostní tabulky zajímaly 3 řádky z celkového počtu 36 (Šmejkal, 2002).

### 1.3.3 Karnaughova mapa

Karnaughova mapa je dvojrozměrný útvar tvaru obdélníku nebo čtverce a slouží k minimalizaci logické funkce. Mapa má stejný počet políček jako daná pravdivostní tabulka, každé z těchto políček odpovídá jedna výsledná kombinace z pravdivostní tabulky. Existuje více druhů map, které se od sebe liší použitím kódu, který přiřazuje políčka jednotlivým kombinacím proměnných. Nejpoužívanější je Karnaughova mapa (Grayův kód). Zde se sousední políčka od sebe liší hodnotou jediného argumentu.

Práce s tímto nástrojem je snadná a rychle se na ni zvykne. Důležitou vlastností Karnaughovy mapy je fakt, že spolu sousedící políčka se vždy liší v hodnotě jedné vstupní proměnné. Ohraničení mapy tedy neznamena překážku a hodnoty v horních rozích jsou považovány za sousedící.



Obr. 1.9 – Karnaughova mapa pro funkci F z Tab. 1.1

V některých případech se může stát, že hodnota výstupní funkce není pro danou kombinaci vstupních hodnot definována. Toto může být způsobeno vzájemnou závislostí

vstupních proměnných nebo fyzickým uspořádáním stroje. V takovémto případě se zavádí do pravdivostní tabulky a K-mapy symbol s významem libovolné hodnoty (X, ? nebo nevyplněné políčko).

### **Minimalizace**

Minimalizace nebo také zjednodušení logického výrazu je postup, při kterém jsou z výrazu odstraněny operace nemající vliv na výsledek. Dochází tedy ke zjednodušení výrazu. Toto zjednodušení ušetří práci programátorovi, který neprogramuje zbytečné výrazy (dříve usnadnilo návrh pevné logiky). Toto má za následek kratší dobu běhu programu a menší výkonnostní nároky na PLC. Samozřejmou výhodou minimalizace je i větší přehlednost finálního programu. Tento přehlednější program se v budoucnu snadněji modifikuje.

Minimalizace je tedy silný nástroj pro programátora, uživatel by k ní však měl přistupovat s rozumem. V dnešní době už není nutnost daný logický výraz minimalizovat do jeho nejmenší podoby a při hledání tohoto ideálního řešení ztratit 3 dny. Opačný přístup, tedy neminimalizovat výraz vůbec je také špatný. Vhodné je použít osvědčené metody minimalizace, které nejsou zbytečně pracné a přináší rozumné výsledky.

Jednou z metod minimalizace je zjednodušování výrazu aplikací pravidel Booleovy algebry. U tohoto postupu si většinou nemůžeme být jistí, že jsme dosáhli již minimálního řešení (u složitějších výrazů poměrně pracné). Poměrně snadnějším a účinnějším nástrojem minimalizace je Karnaughova mapa, a také proto jí bude věnována pozornost.

Jak bylo zmíněno výše, všechna sousední políčka v K – mapě se liší vždy jen jednou hodnotou vstupních proměnných. Dvojice sousedících jedniček se tedy liší v hodnotě jediné proměnné a tyto jde upravit dle vztahu:

$$abc + \bar{a}bc = (a + \bar{a})bc = 1 \cdot bc = bc, \quad (1.4)$$

kde  $\bar{a}$  – vstupní negovaná logická proměnná.

Při sloučení těchto dvou sousedních políček došlo k vyloučení jedné proměnné, při sloučení čtyř políček dojde k vyloučení dvou proměnných, při sloučení osmi políček dojde k vyloučení tří proměnných atd.

Minimalizaci můžeme ukázat na funkci M, která má čtyři vstupní proměnné a má následující pravdivostní tabulku.

Tab. 1.3 – Pravdivostní tabulka funkce M

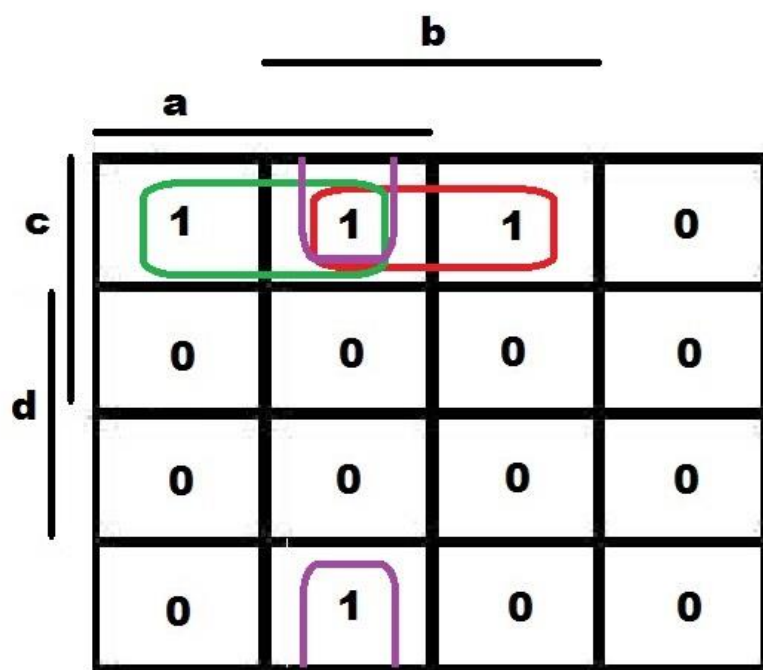
a	b	c	d	M
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

Základní nezkrácený výraz by vypadal takto.

$$M = \bar{a}bc\bar{d} + a\bar{b}c\bar{d} + ab\bar{c}\bar{d} + abc\bar{d}, \quad (1.5)$$

kde  $M$  – Logická funkce určená k minimalizaci.

Po minimalizaci za pomoci K-mapy vznikne značně jednodušší výraz. Jak bylo zmíněno výše, krajní políčka lišící se v hodnotě jedné vstupní proměnné jsou sousední a je možné minimalizovat i tyto dvojice, jak bude vidět na obr. 1.10 (Šmejkal, 2002)



Obr. 1.10 – Minimalizace funkce M za pomoci K - mapy

$$Z = ac\bar{d}, \tag{1.6}$$

kde  $Z$  – minimalizovaná dvojice sousedních políček označených zelenou.

$$F = ab\bar{d}, \tag{1.7}$$

kde  $F$  – minimalizovaná dvojice sousedních políček označených fialovou.

$$\check{C} = bc\bar{d}, \tag{1.8}$$

kde  $\check{C}$  – minimalizovaná dvojice sousedních políček označených červenou.

Finální zjednodušený výraz:

$$M = ac\bar{d} + ab\bar{d} + bc\bar{d}, \tag{1.9}$$

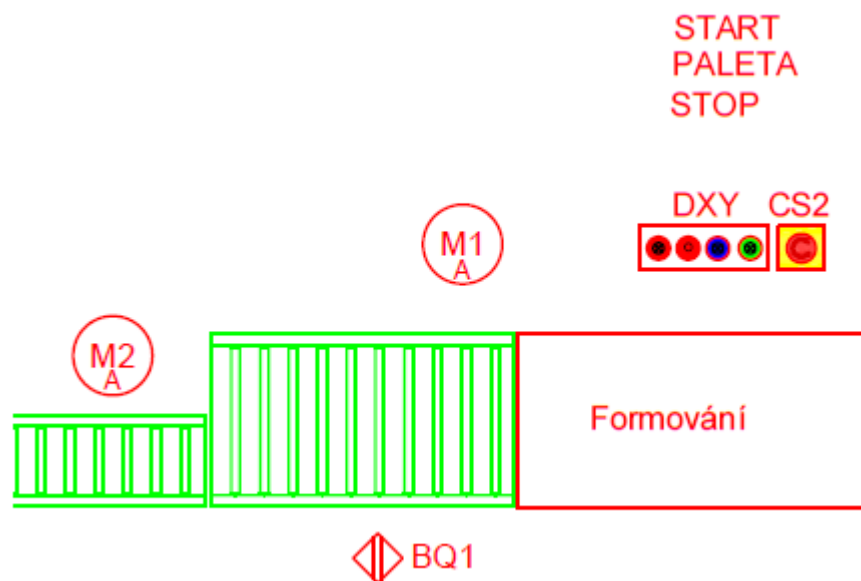
kde  $M$  – Logická funkce minimalizovaná.

## 2 NÁVRH LINKY A ROZVADĚČE

Tato kapitola je věnována návrhu linky a potřebné elektroniky. Budou popsány všechny použité prvky, jejich princip činnosti a účel v navrhnuté lince.

### 2.1 POPIS FUNKCE LINKY, SNÍMAČŮ A AKČNÍCH ČLENŮ

Navrhovaná linka bude sloužit jako propojení pracovišť pro výrobu cívek. Linka povede od pracoviště formování ke dvěma pracovištím navíjení primárního vedení. Jedno pracoviště slouží pro kabelové vedení, druhé pracoviště se zaměřuje na páskové vedení. Linka musí být schopná od vyslání palety dostat paletu k určenému stanovišti bez operátorské pomoci. Nemělo by na ní docházet k ucpání nebo kolizím u semaforu (dvě cesty ke dvěma pracovním stanovištím). Linka je složena z válcových a řemenových dopravníků, které jsou poháněny elektromotory.

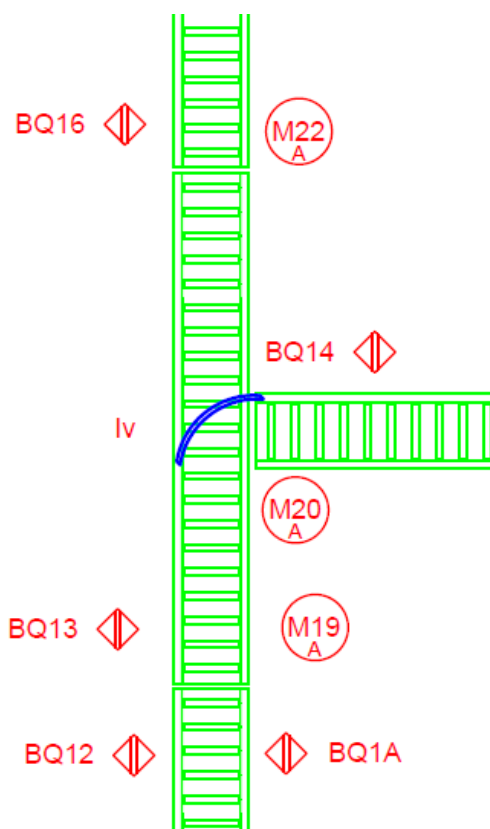


Obr. 2.1 – Pracovní stanoviště (formování) s ovládacím panelem a začátkem linky

Na obr. 2.1 je začátek linky, tedy pracoviště, ze kterého se palety budou posílat. Součástí pracoviště je jednoduchý ovládací panel (značený DXY) se třemi tlačítky Start, Stop pro zapínání a vypínání linky třetím tlačítkem se zapíná motor M1 a posílá se paleta na linku.

Červená signálka slouží pro signalizaci poruchy na semaforu (paleta najede na jinou cestu, než měla). Tlačítko CS (central stop) slouží k okamžitému odpojení linky.

Po odeslání palety na linku se vše řídí již samo, optická čidla přítomnosti značená BQ sledují cestu palety po lince a aktivují motor pro následující dopravník, naopak pro předchozí vypínají (pokud na předchozím nejede už další paleta). Takto je paleta dopravena až k rozdvojení na lince semaforu. Optické snímače musí být umístěny zešikma z důvodu možných mezer ve sledovaném objektu. Pokud by byly umístěny rovně, mohl by těmito mezerami paprsek projít (jedna paleta by mohla způsobit vícenásobnou aktivaci snímače).



Obr. 2.2 – Semafor (dvě cesty ke dvěma pracovním stanovištím)

Semafor je vidět na obr. 2.2. Modře naznačené rameno je připojeno k pneumatickému pohonu, ten je značen Iv. Pneumatický pohon je jednočinný pneumatický válec se zásuvnou pružinou. Tento pohon, při aktivaci pomocí výstupu PLC, stlačí pružinu a přesune rameno do pravé polohy a odblokuje horní cestu. Pokud nepůsobí tlak vzduchu, pružina vrátí rameno do horní pozice a odblokuje pravou cestu.

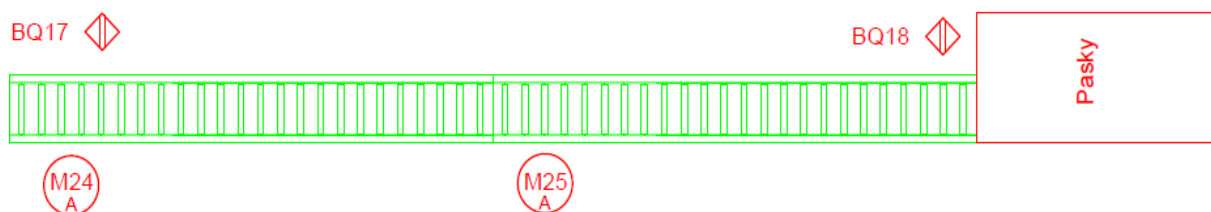
Část se semaforem je náročnější na naprogramování než zbytek linky. Na dopravníku poháněném motorem M19 nesmí nikdy být přítomny dvě nebo více palet. Přítomnost palety

v úrovni čidla BQ13 zastaví předchozí dopravník poháněný motorem M18, dokud paleta nesjede na cestu ke svému pracovišti (BQ14 nebo BQ16 jsou aktivovány).

Indukční snímač přítomnosti BQ1A slouží k určení, ke kterému pracovišti daná paleta pojede. Palety bez kovového praporku budou dopravovány pravou cestou k pracovišti navíjení kabelového primárního vedení. Palety s kovovým praporkem budou dopravovány horní cestou k pracovišti navíjení páskového primárního vedení. Kabelové cívky jsou mnohem častější, a proto je jejich cesta v konfiguraci linky nastavena pozicí ramenem jako přímá bez nutnosti zásahu pneumatického členu (menší namáhání pneumatického členu, než kdyby počáteční poloha ramena vedla k páskovému stanovišti).

Jiným způsobem, jak rozhodovat o určení palety, je např. použití fotoelektrického čidla SICK WBT. Toto čidlo slouží ke snímání čárových kódů a na jejich základě určuje cestu palety. Takovýto způsob je vhodnější pro více možných cest na lince, čidlo je dražší než indukční dvoustavový snímač přítomnosti a má větší problémy s přesností. Snímač vyhodnocuje světlé a tmavé části a má mnohem větší nároky na přesné upevnění čárového kódu než indukční snímač, pro který stačí k paletce přivrtat kovový plíšek (čárový kód musí být rovně a nesmí dojít k jeho ušpinění).

Požadavky na čistý a přesně nalepený kód nejsou jediným problémem, který by se musel řešit v případě využití fotoelektrického čidla. Bylo by potřeba paletu úplně zastavit, aby mělo čidlo čas kód zaznamenat. Přečtení kódu není dlouhé, v dnešní době ho čidlo přečte během dvou vteřin. V případě použití fotoelektrického snímače by snímač BQ12 byl nahrazen druhým pneumatickým pohonem, v tomto případě jednočinným válcem s výsuvnou pružinou. Horní část (zarážka, která zastaví paletu) by byla opatřena snímačem tlaku pro detekci přítomnosti palety. Tato zarážka by byla umístěna mezi válečky dopravníku a vždy po načtení kódu by byla pneumatickým pohonem zasunuta pod úroveň linky a uvolnila by cestu paletě. Výsuvná pružina by po projetí palety znovu zarážku vysunula pro zastavení následující palety.



Obr. 2.3 – Koncové pracovní stanoviště (odebrání palety)

Koncové stanoviště linky, tedy pracoviště, kde se paleta odebírá k dalšímu zpracování cívky, je vidět na obr. 2.3. Tento konkrétní případ počítá s přítomností obsluhy během celého chodu linky a odebírání palet ihned po příjezdu ke zpracování. Linka s pracovním stolem jsou ve stejné výšce, snímač BQ18 vypne motor M25 a obsluha už snadno stáhne paletu na pracovní stůl.

V případě, kdy obsluha není stále přítomna, aby odebírala příchozí palety okamžitě z linky, by tento způsob nebyl příliš funkční a jen malé množství palet by stačilo k ucpání semaforu.

Tento problém by bylo možné odstranit například přidáním jednoho nemotorového dopravníku, který by byl směrem k pracovnímu stolu snížen. Tento gravitační dopravník by sloužil jako odkladiště pro palety v případě nepřítomnosti obsluhy. Pokud by na takovéto prodloužení linky nebylo v budově místo, bylo by možné tento gravitační dopravník udělat z dopravníku obsluhovaného motorem M25, tento motor by byl odstraněn a snímač BQ18 by byl posunut na konec posledního dopravníku poháněného motorem.

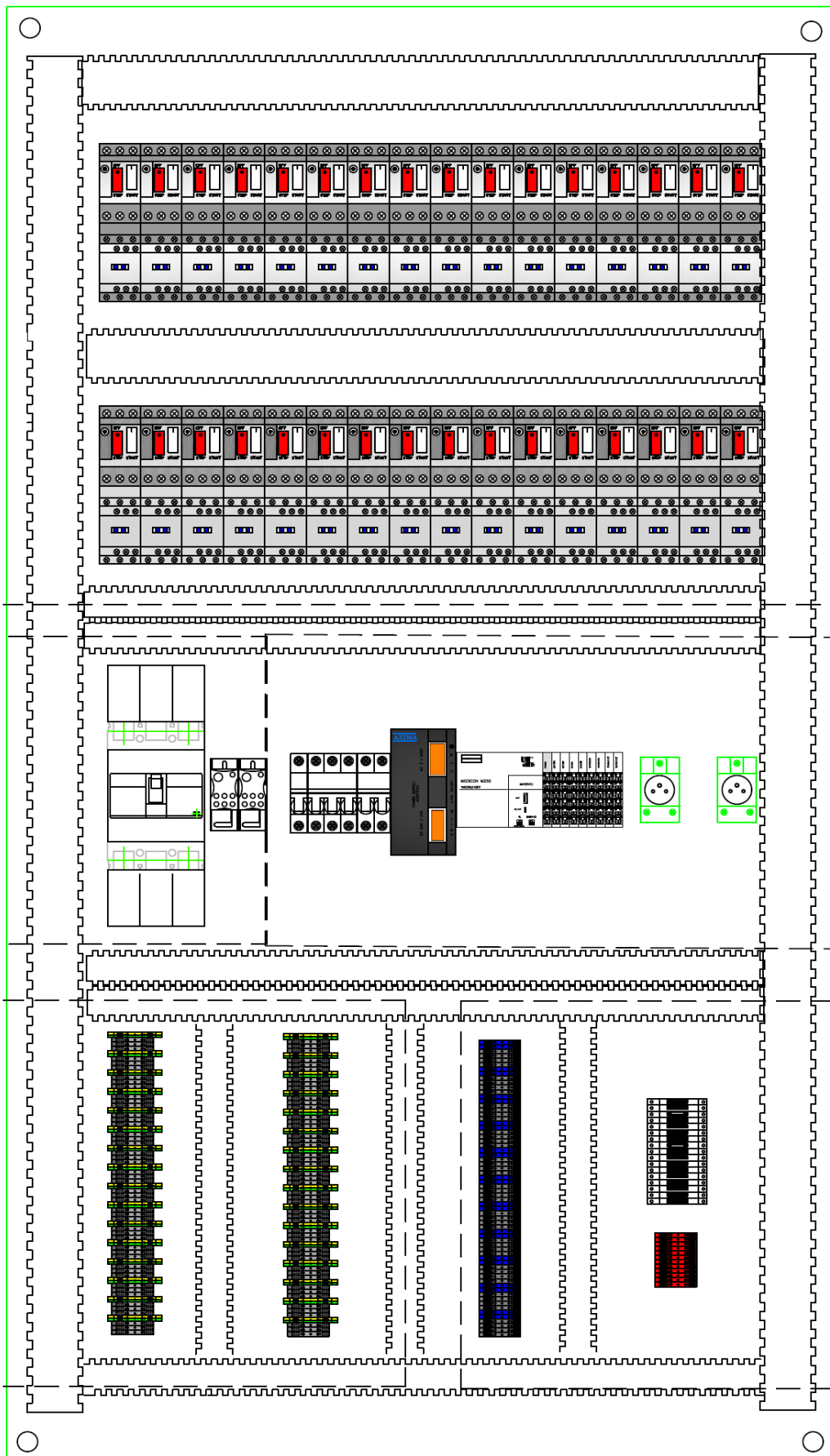
V případě zařazení gravitačního dopravníku je vhodné, aby linka v některé své části vystoupala nad úroveň pracovního stanoviště. Gravitační dopravník poté může spouštět palety do úrovně pracoviště, obsluha má usnadněnou práci a nemusí zvedat palety na pracovní stůl.

## 2.2 ROZVÁDĚČ

Rozváděč je skříň obsahující elektrické přístroje určené k ovládání elektroinstalace, v tomto případě linky pro přepravu cívek. Je přítomno několik příchozích a odchozích kabelů, napájecí kabel, připojení snímačů motorů, tlačítek a signálek. Rozváděč většinou bývá usazen na zdi a kabely jsou do něj vedeny ze spodu a připojeny na příslušné svorky.

Rozváděče používané v průmyslu se od těch v domácí instalaci liší tím, že k nim většinou mají přístup pouze zaměstnanci s odpovídajícím elektrotechnickým vzděláním a tyto rozváděče nemají ochranu stěnu. Při otevření dveří rozváděče jsou přímo dostupné svorky a přístroje. V případech, kdy mají k rozváděči přístup nejen znalí pracovníci, umísťuje se na dveře rozváděče kontakt, který při otevření rozváděčové skříně vypne hlavní jistič.

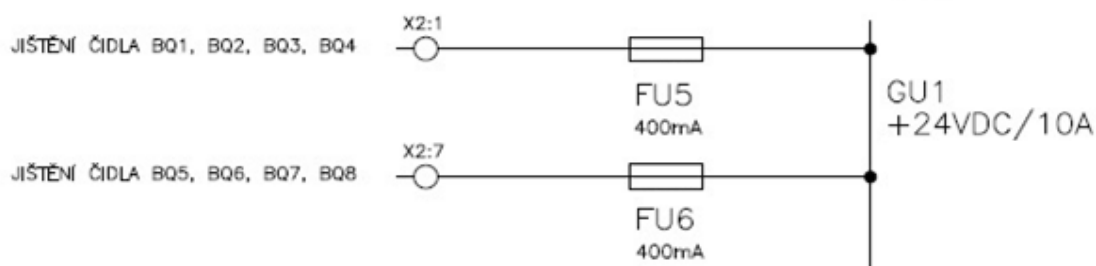
Přístroje bývají v rozváděčové skříni umístěny na nerezové desce osazené DIN lištami. Některé složitější a větší přístroje mohou být namontovány i bez těchto lišt. Možné rozložení přístrojů v rozváděči pro navrhovanou linku je vidět na obr. 2.4.



Obr. 2.4 – Rozložení přístrojů a svorek na desce rozvaděče

Jak již bylo zmíněno, kabely jsou přivedeny ze dna do rozváděčové skříně, a proto se ve spodní části rozváděčové skříně nacházejí svorky. Svorky byly při návrhu rozděleny do skupiny dle využití. Svorky v levé části jsou určeny pro motory (400 V). Vždy čtyři svorky (tři fáze a zemní svorka) pro jeden motor, tato čtveřice vždy začíná zelenožlutou zemnicí svorkou. V rozváděči je o sedm svorek více pro případ potřeby rozšířit linku.

Modrošedé svorky v pravé části jsou určeny k připojení snímačů (24 V). Tyto svorky jsou navrženy pro připojení šestižilového kabelu, který bude veden k lince, kde budou (přes další svorkovnici) připojena tímto kabelem čtyři čidla. První dvě svorky slouží jako napájení + a -. + je vedeno přes pojistku v případě zkratu vyhoří pojistka a nedojde k poškození automatu (nebo jiného drahého el. zařízení). Třetí až šestá svorka jsou určeny pro připojení signálu z čidla, signálky nebo tlačítka. Jištění takto propojených čtveřic je naznačeno na obr. 2.5 (FU trubičková pojistka).



Obr. 2.5 – Jištění napájecí svorky čidel

Je vhodné pracovat s takto zapojenými skupinami snímačů z několika důvodů. Mít pojistku pro každé čidlo je zbytečné (zbytečné zabránění místa a přidání práce při montáži). Je dobré zvolit si skupinu po čtyřech nebo šesti čidlech. Výstup každého čidla je jeden bit a jelikož moduly použitého automatu pracují s word (slovo 12 bitů), lze na každý modul připojit tři tyto svorkovnice shromažďující informace ze snímačů. Značně usnadňuje práci s programem a celkovou přehlednost.

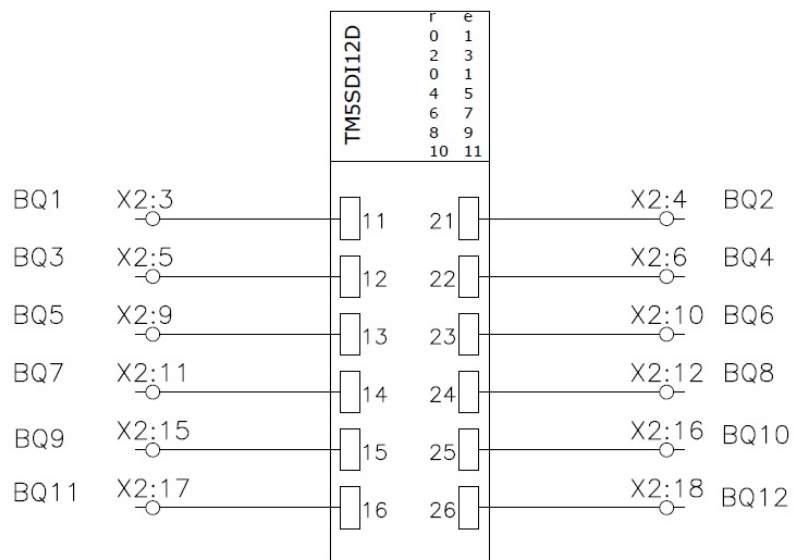
Od vrchu jsou zapojeny snímače, vždy tak, aby byly co nejbliže u sebe na trase linky a ze svorkovnice, která je umístěna v místě linky, se nemusely vést zbytečně dlouhé kabely k čidlům. Na konec této svorkovnice je připojen ovládací panel pro pracoviště formování označený DXY, který obsahuje tři tlačítka a signálku. Zbylé nepoužité svorky mezi snímači a ovládacím panelem jsou nachystány pro případ, že by bylo potřeba linku rozšířit nebo přidat nějaká čidla pro optimalizaci chodu.

Úplně vpravo jsou pojistky (pro jištění skupin snímačů) a svorky pro připojení central stopů. Jeden central stop je umístěn přímo na pracovišti formování a druhý je na rozváděči.

Pokud by linka nebyla v jedné hale, ale její druhá polovina by procházela do haly druhé, je potřeba mít central stop i v druhé hale (central stop musí být v každé hale, kterou by linka procházela).

V prostřední části rozváděče jsou zprava dvě zásuvky na 230 V, které byly do návrhu umístěny pro případ, že by bylo potřeba v blízkosti rozváděče pracovat na PC nebo notebookem. Tyto zásuvky jsou jištěny jističem pro nižší proudy (6 A) a to z důvodu, aby pracovníky nelákalo využívat tyto zásuvky pro rozbrušovačky, svářečky a podobné přístroje.

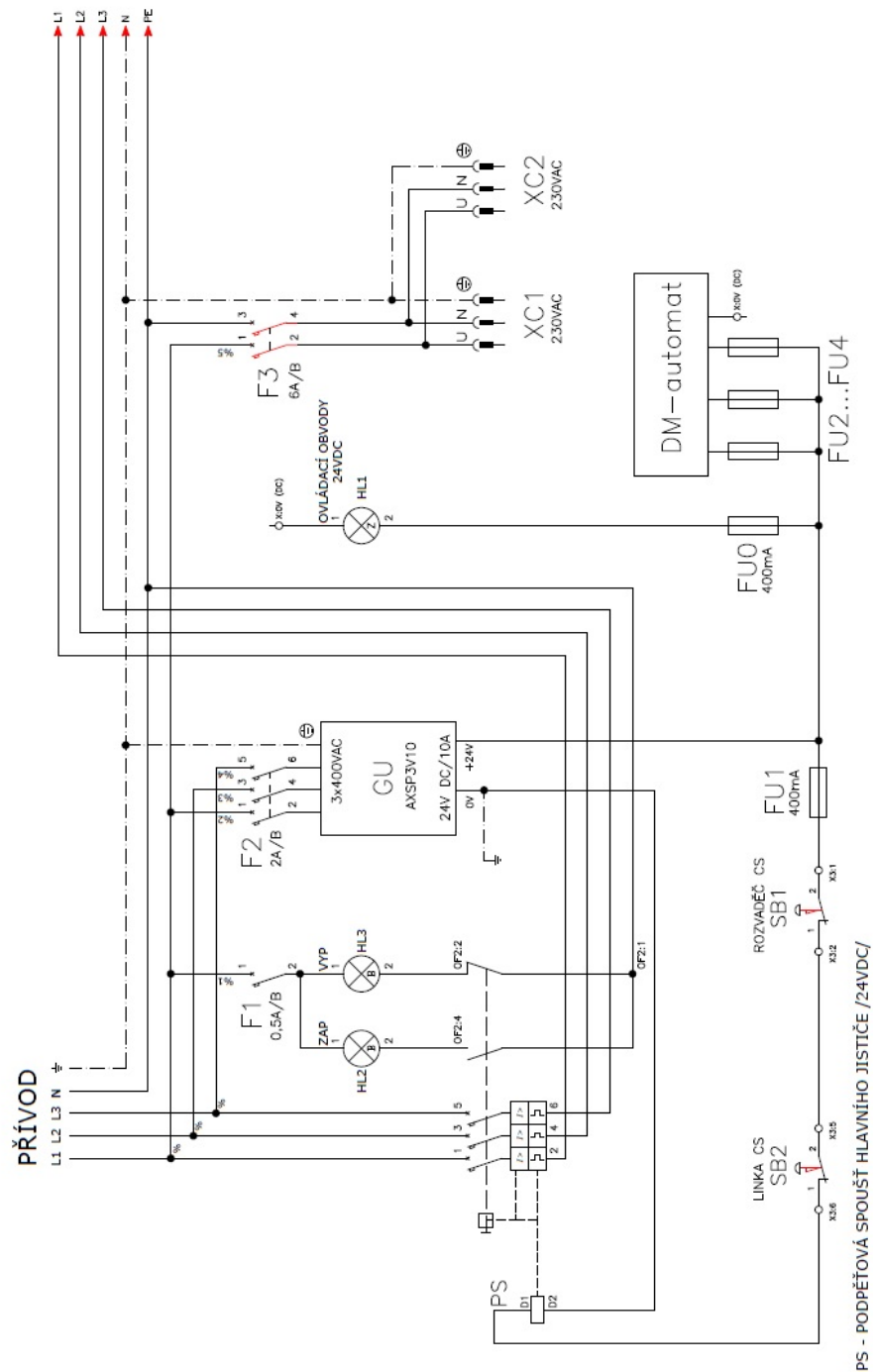
Následuje PLC MODICON M258, které celou linku řídí. Toto PLC je modulární a má v základní konfiguraci dva vstupní a dva výstupní moduly. Při návrhu byly využity čtyři rozšiřující moduly (dva pro DI a dva pro DO). Všechny vstupní signály jsou vedeny na rozšiřující vstupy, výstupních signálů je více a jsou využity i tři výstupy na integrovaných výstupních modulech. Snaha připojovat vše na výstupní moduly a vyhnout se práci s integrovanými moduly pramení z opatrnosti. V případě, že se stane něco rozšiřujícímu modulu, jde snadno a poměrně levněji vyměnit, než v případě poruchy PLC. Na obr. 2.6 je ukázáno zapojení prvního modulu externích vstupů. Jak bylo již zmíněno, svorky X2:1 a 2 jsou určeny pro napájení + a -, proto je k automatu jako první připojena svorka X2:3, která přivádí signál z prvního čidla. Další čtveřice čidel jsou připojeny obdobně. Pro druhou čtveřici jsou napájecí svorky X2:7 a 8.



Obr. 2.6 – Rozšiřující modul PLC s připojenými signály ze snímačů přes svorky

Pro napájení 24V obvodů je v rozváděči umístěn AC/DC měnič, tedy spínaný stabilizovaný zdroj typu AXSP3V10. Malé zařízení, které je možné umístit na DIN lištu,

poskytuje nadproudovou, přepět'ovou a tepelnou ochranu. Nadproudová ochrana zamezuje vlivu vyšších hodnot elektrického proudu na zařízení, která by zařízení příliš tepelně zatěžovala. Přepět'ová ochrana je určena k ochraně el. zařízení před (a izolaci) vyšším napětím, než které je schopna izolace vydržet. Připojení potřebného napájení PLC viz. Datasheet dostupný na stránce: <http://download.schneider-electric.com>.



Obr. 2.7 – Hlavní přívod a jištění obvodů

Za zdrojem se nachází 3 jističe sloužící jako ochrana pro zásuvky, zdroj a světelnou signalizaci značící, že je systém pod proudem. Za jističi následuje hlavní jistič (deon), vedle je přivedena hlavní nula a kostra (zem). Přes deon je připojeno třífázové napětí, které je následně rozvedeno do zbytku rozváděče. Deon se typicky používá jako hlavní jištění pro různé druhy distribuce elektrické energie, tedy i pro rozváděče. Připojení deonu a dalších tří jističů je znázorněno na obr. 2.7.

Byl proveden výpočet proudu pro vhodnou volbu deonu a průřezu hl. přívodu. Rozváděč je navrhnut pro dvacet pět motorů s možností rozšířit ho o dalších sedm. Jeden motor má výkon (P) 370 W a ze vzorce pro výkon třífázové soustavy

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I, \quad (2.1)$$

kde  $P$  – výkon,

$U_s$  – sdružené napětí (mezi fázemi),

$I$  – elektrický proud.

Při spuštění všech motorů by soustavou procházel proud 17,34 A. Byl zvolen nejbližší (vyšší) deon pro 25 A (odběr ostatních zařízení se do velikosti tohoto proudu pohodlně vejde, při sepnutí všech stykačů poteče jejich cívkami celkem asi 0,5 A). Pro tento proud byl zvolen i průřez hl. přívodu, pro měděný vodič se dává jeden mm<sup>2</sup> pro 3 – 4 A. Hlavní přívod by tedy měl mít průřez přes 8 mm<sup>2</sup>, byl zvolen nejbližší vyráběný průřez 10 mm<sup>2</sup>.

Na obr. 2.7 kromě připojení jističů a deonu je vidět připojení napájení automatu přes tři pojistky, signálky HL2 a HL3 ty signalizují, zda je systém pod napětím nebo ne. Signálka HL1 oznamuje, že měřicí a ovládací prvky (24 V) jsou pod napětím (Štach, 2018).

CS jsou kloboučková tlačítka, která zůstávají v dané poloze. Tato tlačítka jsou přivedena k podpěťové spoušti (ta slouží k dálkovému vypínání deonu), které potřebuje k zapnutí jističe, aby na ni bylo přivedeno napětí s určitou procentuální hodnotou rozsahu této spouště (přivedeno napětí, tlačítko CS nebylo stisknuto). Vypnutí jističe touto spouští způsobí přerušení obvodu stisknutím jednoho z tlačítek CS. Podpěťová spoušť je z hlediska bezpečnosti vhodnější pro dálkové vypínání než napěťová spoušť, která funguje obráceně. V případě poruchy tlačítka CS dojde u podpěťové spouště k vypnutí hlavního jističe, u napěťové spouště je poté nemožné dálkově vypnout hlavní jistič.

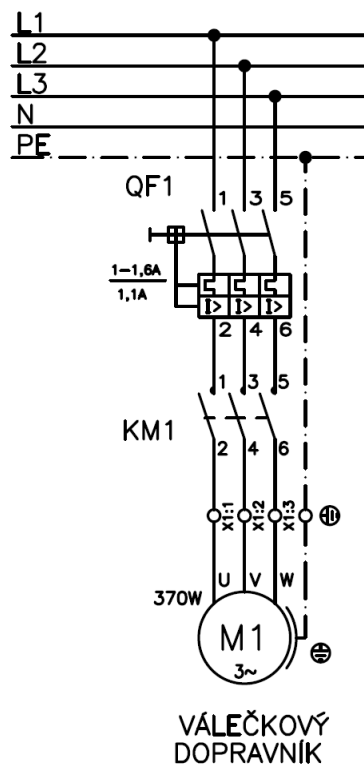
V horní části rozváděče naznačeného na obr. 2.4 jsou umístěny stykače, které slouží ke spínání motorů. Jejich fáze jsou přivedeny na motorové svorky. Jsou ovládány cívkou 24 VDC s kontakty A1 a A2, výstup automatu je přiveden na kontakt A1 přes, který je spínán. Spolu se

stykači je umístěn v horní části i motorový spouštěč. Chrání motor před přetížením. Zapojení motoru je zobrazeno na obr. 2.8.

Rozváděč obsahuje také perforované rozváděčové lišty, ty jsou určeny k uložení vodičů. Jsou naznačeny na obr. 2.4 na krajích rozváděče a mezi jednotlivými DIN lištami se svorkami nebo elektrickými zařízeními.

Pro propojení elektrických zařízení jsou použity vodiče s barevným značením (barva izolace). Tmavě modrá pro 24 VDC, šedá, hnědá a černá pro připojení sítě, světle modrá pro nulový vodič a žlutozelená pro ochranný vodič PE (zem). Vodiče by měly být opatřeny na koncích popisovacími dutinkami, ty informují o tom, které dva kontakty jsou vodičem spojeny (usnadněná orientace v zapojení).

Obr. 2.4 až 2.8 zachycují pouze některé části navrhnutého rozváděče. Kompletní technická dokumentace je k nahlédnutí v příloze B.



Obr. 2.8 – Připojení motoru

## 2.3 PRINCIP PŘIPOJENÝCH PERIFERIÍ

Tato podkapitola přiblíží funkční princip akčních členů a snímačů.

### 2.3.1 Pneumatický pohon

K uvádění ramena určujícího, kterou cestou paleta na lince pojede, je využito pneumatického pohonu (jednočinný válec s pružinou zasouvající píst) značka tohoto pohonu na obr. 2.9.

U pneumatických pohonů bývá většinou využíváno přetlaku stlačeného vzduchu, který svým tlakem uvede pohon (motor, válec) do požadovaného pohybu. Pro potřeby navržené linky je vhodný pneumatický válec, který je vhodný pro přesun ramena do žádané polohy. Pneumatické válce dosahují rychlosti až 3 m/s. Vzduch je přiváděn ze zásobníku nebo kompresoru a není citlivý na kolísání teploty. Tyto pohony jsou výkonné, lehké, snadno opravitelné a robustní.

Pneumatický pohon se skládá z řídicí a výkonové jednotky. Řídicí jednotka přímá a zpracovává signály (například z výstupu PLC) na jejichž základě řídí jednotku výkonovou. V této jednotce dojde k převedení řídicích signálů na nastavení polohy válce, který pohybuje ramenem.

Jako zdroj stlačeného vzduchu se používají kompresory, které nasávají vzduch z okolí a podle způsobu stlačování se dělí na objemové a proudové.

Objemový využívá prostorů, které mohou měnit objem, do tohoto prostoru je přiveden vzduch, dojde ke zmenšení objemu prostoru a tím k zvětšení tlaku vzduchu. Membránové kompresory nemusí být mazány, jsou vhodné pro použití například v potravinářství (absence oleje).

Regulace výkonu kompresoru se řeší několika způsoby. U menších kompresorů dochází k zapínání a vypínání motoru pohánějícího kompresor. Vždy při dosažení maximálního tlaku v zásobníku je vypnut a při poklesu tlaku pod úroveň provozního tlaku je zapnut. Toto spínání nesmí být příliš časté. Větší kompresory běží neustále a přechází do provozního režimu naprázdno, při kterém nedochází k doplňování zásobníku. Tohoto je dosaženo uzavřením sacího ventilu nebo otevřením vypouštěcího ventilu do okolí.

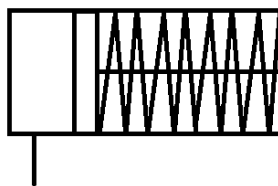
Zásobník uchovává stlačený vzduch a tím zajišťuje plynulou dodávku vzduchu i při vypínání motoru. Objem zásobníku se volí podle průměrné spotřeby. Kapacity by měla být větší

než 10 % dodávky vzduchu od kompresoru za minutu. Moderní pohony jsou vybaveny sušičkou vzduchu, aby nedocházelo ke kondenzaci vody v systému (způsobuje opotřebení a korozi).

K rozvodu vzduchu od kompresoru k zásobníku nebo místu spotřeby jsou používány trubky a tlakové hadice (používají se materiály ocel, měď a PVC). Ztráty tlaku by v rozvodech neměly přesáhnout 2 % provozního tlaku. Rozvody stlačeného vzduchu musí být pravidelně kontrolovány, netěsnost vede k velkým ztrátám. Rozvod by měl být se směru proudu vzduchu mírně skloněn a v nejnižším místě opatřen ventilem pro vypouštění kondenzované vody.

Rozlišují se pneumatické pohony s točivým pohybem (pneumatické motory) nebo s přímým pohybem (pneumatické válce). Motory jsou lehké a často se využívají pro zdvihací mechanismy. Úpravou provozního tlaku lze snadno upravovat otáčky motoru (ty jsou závislé na zatížení motoru). Uplatnění nacházejí v prostorech s nebezpečím výbuchu.

Pneumatické válce se dělí na jednočinné nebo dvojčinné válce. Tento druh pohonů nachází uplatnění v situacích, kdy je potřeba přemístit objekt (upravení pozice závory), zvednout objekt (vytyčení brzdícího klínu) nebo podat objekt (posunout paletu na jiný dopravník).



Obr. 2.9 – Značka jednočinného válce se zásuvnou pružinou

Jednočinné válce jsou konstruovány s vratnou pružinou. Síla vzduchu působí jen na jednu stranu pístu, dojde ke stlačení pružiny a vysunutí pístnice. Po přerušení přívodu stlačeného vzduchu vratná pružina vrátí pístnici do původní polohy.

Dvojčinné válce umožňují působit stlačeným vzduchem na píst v obou směrech. Tyto válce mají díky absenci vratné pružiny rychlejší a rovnoměrnější zpětný chod, je možné nastavit rychlost pístu v obou směrech. Dvojčinné válce mají větší zdvih. Rozsah pohybu se volí zářkami pístu, ty by měly být opatřeny tlumícími podložkami, jinak hrozí brzké opotřebení nárazy v koncových polohách.

O ovládání elektricky řízených pohonů se stará cívka nebo stykač. Tyto poté ovládají elektromagneticky ovládané ventily, válce nebo motory (Štach, 2018).

### 2.3.2 Asynchronní motor

Točivý elektrický stroj, poháněný střídavým proudem. Díky jednoduché konstrukci, snadné údržbě a příznivé ceně se jedná o nejpoužívanější elektrický motor. Jsou vhodné jak pro situace, kde není třeba řídit otáčky, tak i s vhodným frekvenčním měničem pro úlohy, kde je nutné otáčky řídit.

Motor je složen ze statoru a rotoru (kotva). Obě části jsou tvořeny plechy opatřenými drážkami, ve kterých je uloženo vinutí, většinou třífázové. Pokud má každá fáze jednu cívku, mluví se o dvupólovém motoru, v případě, že cívek na jednu fázi připadá více, jedná se o vícepólový motor. Počet pólů ovlivňuje synchronní otáčky motoru

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (2.2)$$

kde  $n_s$  – synchronní otáčky motoru,

$f$  – frekvence napájení,

$p$  – počet pólových dvojic.

Motor s kotvou nakrátko má vinutí rotoru zhotoveno z vhodně odlitých tyčí zasazených do drážek rotoru, tyto tyče jsou na koncích spojeny vodivými kruhy (nazýváno jako klecové vinutí). Obvodové drážky bývají zešíkmeny (snížení hluku, zlepšení záběrového momentu). Tento druh rotorů je podstatně rozšířenější než motory s kotvou vinutou.

Motor s kotvou vinutou má rotorové vinutí zhotoveno z izolovaných vodičů, konce jsou připojeny na sběrací kroužky. Přes sběrné kartáčky jsou připojeny vývody vinutí na omezovací odpory. Tyto odpory slouží jako regulační člen.

Po připojení napětí na vinutí statoru je generováno točivé magnetické pole, které indukuje v rotoru (kotvě) napětí a proudy, které spolu s točivým polem tvoří elektromagnetický moment.

$$M \approx \phi \cdot I_2 \cos \varphi_2 \cdot \sin \beta, \quad (2.3)$$

kde  $M$  – elektromagnetický tok,

$\phi$  – magnetický tok ve vzduchové mezeře,

$I_2$  – Proud indukovaný v rotoru,

$\varphi_2$  – časový úhel mezi  $U_2$  a  $I_2$ ,

$\beta$  – prostorový úhel mezi osami  $\phi$  a  $I_2$ .

Homogenní točivé pole  $\phi$  se otáčí proti směru hodinových ručiček, umístěním uzavřené vodivé smyčky do tohoto pole, jako na obr. 2.10 znamená, že v tomto okamžiku je interakce

mezi smyčkou a  $\phi$  maximální a nedochází k indukovaní žádného napětí ani proudu. S posunutím pole vůči stojící smyčce (zmenšení vzájemné interakce) se ve smyčce začne indukovat napětí a proud, který začne protékat smyčkou a snaží se zachovat velikost původní interakce. Směr točivého momentu je shodný se směrem magnetického pole. Otáčením pole se  $\phi$  zmenšuje, až dosáhne nulové hodnoty. Další otáčení způsobí opětovný nárůst indukovaného napětí a proudu s opačnou polaritou. Točivý moment má však stále stejný směr. Dochází k neustálému kmitání mezi 0 a maximální hodnotou.

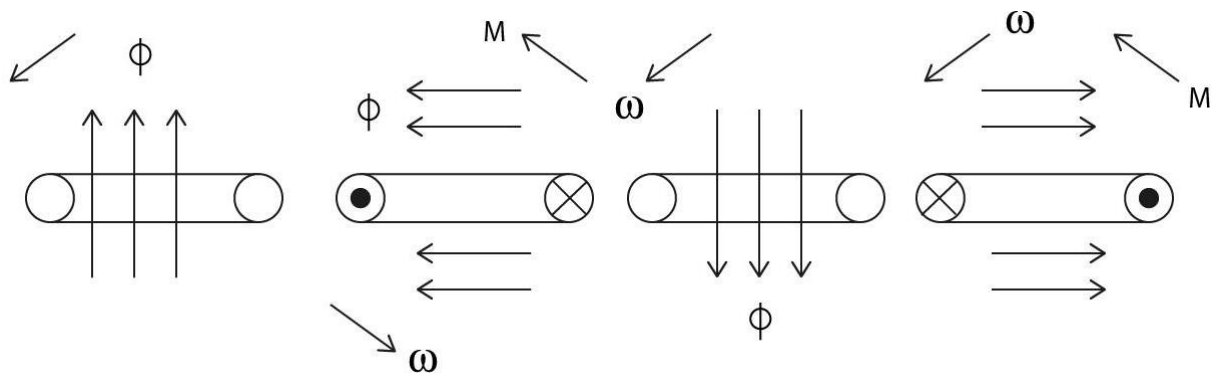
Na smyčku působí zátěžový moment a je potřeba počítat i s mechanickými ztrátami. Nebýt těchto zátěží, smyčka by při své snaze dohánět točivé pole dosáhla stejné rychlosti jako toto pole, V takovém případě by dosáhla synchronních otáček. Kvůli zmíněným ztrátám těchto otáček nikdy nedosáhne (asynchronní motor). Skutečné otáčky se od synchronních liší skluzem (Kubie, 2013)

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}, \quad (2.4)$$

kde  $s$  – skluz motoru,

$n_s$  – synchronní otáčky,

$n$  – skutečné otáčky.



Obr. 2.10 – Princip funkce asynchronního motoru

### 2.3.3 Použitá sensorika

#### Indukční snímače

Pro správnou práci linky je důležité detekovat přítomnost objektu (palety s cívkou nebo kovový plíšek), pro správnou činnost linky. Detekce palety čidlem zapíná motor, který pohání následující dopravník, přítomnost plíšku rozhoduje, ke kterému stanovišti bude paleta poslána.

Pro potřeby linky byly vybrány optické snímače pro detekování palet a indukční snímač pro detekci kovového praporku. Pro vhodné zvolení snímačů je důležité brát v potaz fyzikální vlastnosti detekovaného objektu i prostředí, ve kterém bude snímač použit.

Při volbě snímače je třeba brát v úvahu následující omezení. Velikost prostoru, ve kterém bude snímač uložen, bude-li indukční čidlo umístěno mezi válečky dopravníku, musí být vybráno takové, jehož velikost bude menší než vzdálenost dvou válečků. Maximální vzdálenost detekce, indukční snímače mají dosah v jednotkách až desítkách milimetrů, snímač



Obr. 2.11 – Indukční snímač

je třeba umístit do úrovně těsně pod projíždějící paletu. Důležité je dávat pozor na znečištění detekčního prostoru, tento problém příliš nehrozí u indukčních snímačů, ale pro optické snímače se jedná o podstatný problém. Jedním z důvodů, proč byl k určování cesty zvolen snímač detekující kov, místo snímače čárového kódu. Další negativní vlivy, na které je třeba dávat pozor, jsou intenzita okolního osvětlení, teplota v okolí snímače a elektromagnetické rušení. Je dobré se také zamyslet nad rychlostí předmětu v případě snímání za pohybu.

Indukční snímače jsou vhodné pro použití v prašných či jinak znečištěných prostředích. Využití, které nachází snímač v navržené lince, je pouze jedno z mnoha. Tyto snímače mají velkou škálu použití např. obráběcí stroje, svářeční roboti, řízení dopravníků, detekce pohybu

kol, bezdotykové koncové spínače atd. uplatnění nachází ve strojním, potravinářském nebo automobilovém průmyslu.

Indukční snímače mívají klasicky válcové provedení, jak je vidět na obr. 2.11. Základem snímačů je oscilátor, u kterého dochází k útlumu kmitů v případě přiblížení kovového (elektricky vodivého materiálu). Vyhodnocovací obvod zaznamená tyto změny a přepne výkonový koncový stupeň. Koncový stupeň se v závislosti na druhu spínače dělí na spínací a rozpínací. Výstup se spojí v případě přiblížení kovového předmětu nebo rozpojí. Po odstranění kovového předmětu z dosahu snímače se obnoví kmity oscilátoru a vyhodnocovací obvod vrátí výkonový stupeň do původního nastavení.

Oscilátor je propojen s cívkou, která je uložena ve feritovém jádru (aktivní plocha snímače). Vysokofrekvenční proud prochází cívkou a vytváří magnetické pole, které vystupuje z přední části snímače. Při přiblížení kovového předmětu k aktivní (přední) části snímače dojde k indukovaní vířivých proudů v kovovém praporku. Vzniká další magnetické pole, které vlivem vzájemné indukčnosti působí na cívku a ta mění svou impedanci (Vojáček, 2014a).

### **Optické snímače**

Optické snímače jsou děleny na difuzní a reflexní. Difuzní snímače mohou být použity pro neprůhledné i průhledné nelesklé materiály, dosah přes jeden metr a umožňují detekci předmětů o velikosti jen několika mm. Pracují na principu detekce odraženého paprsku od sledovaného objektu. Není potřeba mít odrazku, avšak pozadí nesmí mít podobné odrazové vlastnosti jako sledovaný objekt. Bílé předměty se detekují dobře, černé špatně.

Reflexní snímače mohou být použity spíše pro neprůhledné materiály, mají výrazně větší dosah, až desítky metrů v provedení s laserem jako zdrojem světla. Tyto snímače pracují na principu přerušování paprsku světla. Barva, lesk ani jiná optická vlastnost sledovaného objektu se nebere v potaz. Optické snímače vyžadují k bezporuchovému provozu neprašné prostředí.

Jednocestné snímače mají oddělený zdroj a přijímač světla. Takovýto snímač by byl na linku umístěn tak, aby vysílač byl na levé straně dopravníku, přijímač na pravé a paleta bude projíždět mezi nimi.

Reflexní snímače mají zdroj a přijímač světla v jednom pouzdře. Tyto snímače pracují s předpokladem, že se paprsek od detekovaného předmětu odráží pod určitým úhlem a tedy vzdálenost sledovaného objektu je určena podle místa, kam byl paprsek odražen. Tento princip je odolnější vůči rušení oproti měření intenzity odraženého paprsku nebo doby letu paprsku. Tento snímač je vhodný pro sledování přiblížení předmětu (Vojáček, 2005) (Vojáček, 2014b).

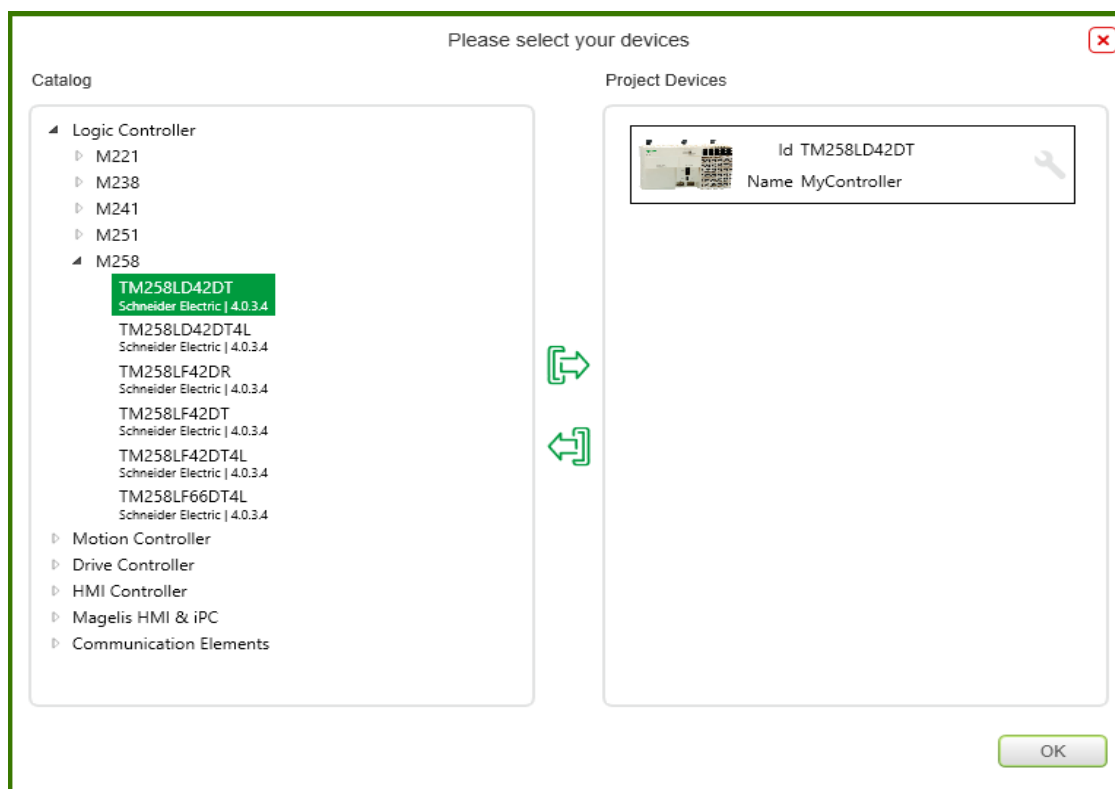
### 3 ŘÍDICÍ PROGRAM PLC

Tato kapitola je věnována programu, který bude nahrán do PLC. Nejdříve bude věnována pozornost práci s programem SoMachine, základní výběr hardwarové konfigurace, pro kterou se bude programovat. Následovat bude popis řídicího programu a jako poslední bude ukázána vizualizace programu, její tvorba a výsledná podoba.

SoMachine je prostředí určené k návrhu efektivního řízení technologických celků. Jedná se o poměrně intuitivní program a práci v něm brzy zvládne i uživatel, který není profesionálním programátorem. Podporuje všech šest programovacích jazyků a umožňuje také vizualizaci programu. Tento program je volně ke stažení a vyzkoušení po dobu 21 dní.

#### 3.1 VOLBA KONFIGURACE PLC V SOMACHINE

Při spuštění programu a vytvoření nového projektu je nejdříve potřeba vybrat PLC, pro které bude program vytvářen (tlačítko configuration). V okně pro výběr zařízení je na výběr několik druhů automatů. Jak je vidět na obr. 3.1, je zvolen Modicon M258 (TM258LDT), který byl zakreslen v rozváděči. Potřebné PLC je vybráno z levého sloupce catalog a přemístěno do pravého sloupce project devices horní šipkou směřující doprava, spodní šipka směřující doleva zařízení odebírá.

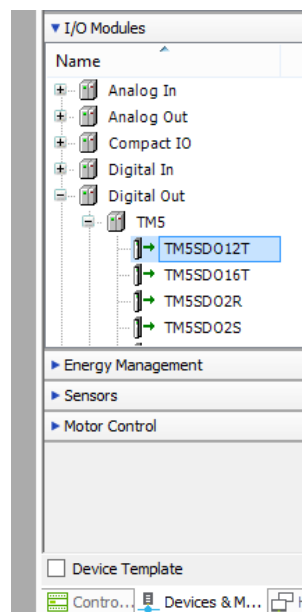


Obr. 3.1 – Výběr PLC

Pro toto PLC již jde tvořit program, obsahuje zatím pouze základní moduly, které jak bylo zmíněno ve druhé kapitole, nejsou příliš využity. Je vhodné před začátkem programování přidat všechny rozšiřující moduly, které obsahoval hardwarový návrh v druhé kapitole.

Po kliknutí na tlačítko controller se objeví pracovní plocha rozdělená na tři části. V levé části se nachází sloupec, který zobrazuje a umožňuje správu hardwarové části (záložka devices tree). Nachází se v něm zvolený M258 a již teď je možné spravovat jeho základní moduly. Druhá záložka slouží ke správě programové části a bude jí věnována pozornost při tvorbě programu. Prostřední část je pracovní plocha umožňující tvorbu programu (práce v jednom z programovacích jazyků PLC) či správu zmíněných modulů (adresování, pojmenovávání bitů, konfigurace a informace o modulech).

V pravé části se nachází sloupec obsahující záložky, které umožňují přidat další PLC (controller) nebo rozšiřující moduly (devices and modules). V okně I/O modules se nachází velké množství druhů rozšiřujících modulů pro různá PLC. Budou přidány právě ty moduly, které byly použity při návrhu rozvaděče. Snadným přetáhnutím hledaného modulu do levého sloupce je modul přidán do hardwarové konfigurace.



Obr. 3.2 – Záložka s rozšiřujícími moduly

Takto lze sestavit požadovanou konfiguraci modulárního PLC, pro kterou bude tvořen program. Je vhodné jednotlivé moduly umístěné v levém devices tree projít a pojmenovat jednotlivé vstupy a výstupy (bity) podle návrhu zapojení, které je pro první modul rozšiřujících vstupů vidět na obr. 2.6.

Při rozkliknutí modulu, jenž je součástí zvolené konfigurace, se otevře v prostřední části pracovní plochy okno, v němž je možné přiřadit daným bitům označení. Je vhodné pro lepší přehlednost a usnadnění práce volit názvy bitů shodné s návrhem ve druhé kapitole. Samozřejmě není potřeba bity vůbec pojmenovávat (sloupec variable), ale lze pracovat při programování s adresami bitů (sloupec address). Programování s adresami je však zbytečně složité a pro většinu uživatelů by znamenalo ztížení práce. Ukázka pojmenování bitů vstupního modulu je na obr. 3.3.

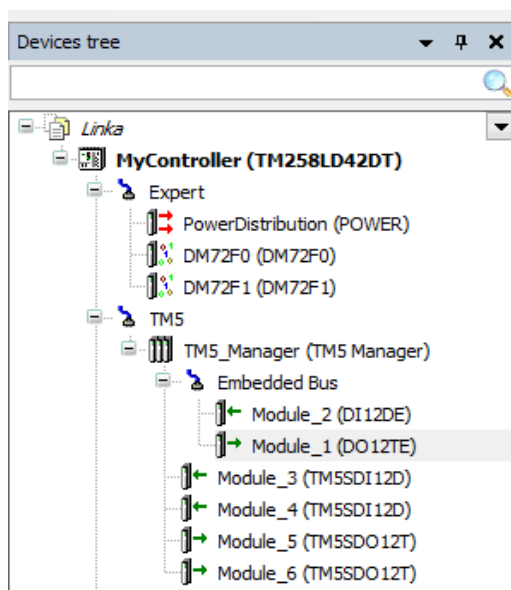
Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Default Value	Unit	Description
Inputs							
DigitalInp...		DigitalInp...	%IW5	UINT			
BQ1		DigitalInp...	%IX10.0	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ2		DigitalInp...	%IX10.1	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ3		DigitalInp...	%IX10.2	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ4		DigitalInp...	%IX10.3	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ5		DigitalInp...	%IX10.4	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ6		DigitalInp...	%IX10.5	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ7		DigitalInp...	%IX10.6	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ8		DigitalInp...	%IX10.7	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ9		DigitalInp...	%IX11.0	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ10		DigitalInp...	%IX11.1	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ11		DigitalInp...	%IX11.2	BOOL			24 VDC, 0.1 t...
BQ12		DigitalInp...	%IX11.3	BOOL			24 VDC, 0.1 t...

Obr. 3.3 – Pojmenování bitů rozšiřujícího modulu TM5SDI12D

Stejným způsobem budou přiřazena označení pro všechny použité moduly.

Druhý řádek (nepojmenovaný) na obr. 3.3 by byl pojmenován v případě práce s celým slovem (dvanácti bity). Vhodné v případech, kdy je třeba porovnávat velikost slova (slovo je číslo ve dvojkové soustavě) a sledování, zda nepřekročí určitou velikost.

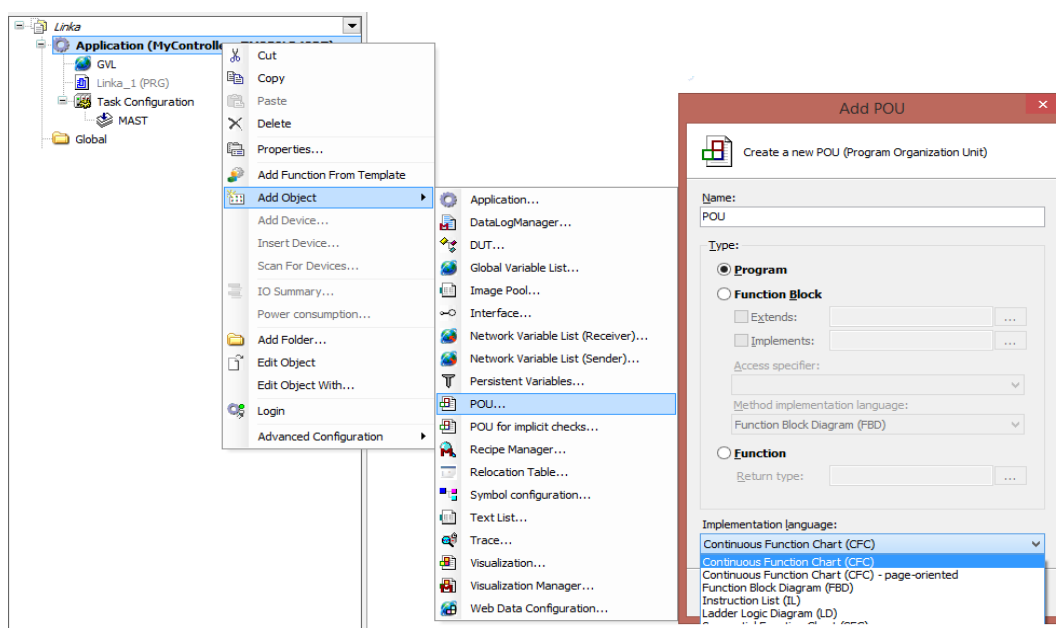
Takto se nastavuje konfigurace programovaného PLC. Je opravdu vhodné si vše nastavit před začátkem vytváření programu. Pokud tak uživatel neučiní, je velmi pravděpodobné, že ho při programování potkají komplikace, jako práce s nedefinovaným bitem. Z pracovní plochy nebyl popsán už jen devices tree, a ten je vidět na obr. 3.4 s již kompletní konfigurací M258. Napájecí modul powerdistribution, rychlé vstupy a výstupy nejsou použity stejně jako modul integrovaných vstupů.



Obr. 3.4 – Device tree s kompletními konfigurací M258

## 3.2 VLASTNÍ PROGRAM

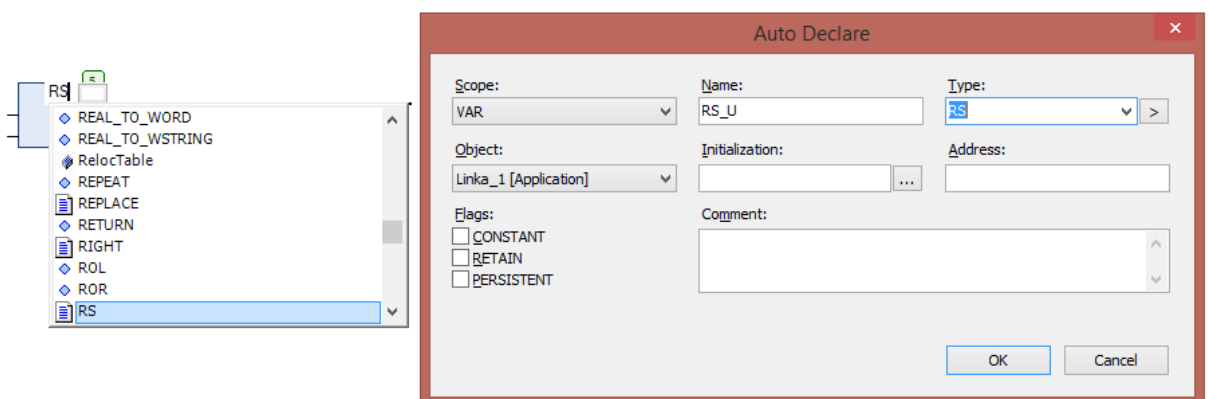
Po nastavení konfigurace je třeba přepnout levou část na záložku tvorby aplikací (applications tree). V tomto sloupci se nachází položka nazvaná application (MyController : TM258LD42DT). Kliknutí pravým tlačítkem na tuto kolonku zobrazí nabídku, ze které je třeba vybrat add object a POU. Objeví se okno umožňující pojmenování nového programu a jazyk, ve kterém se daný program bude vytvářet.



Obr. 3.5 – Přidání programu, pojmenování a výběr programovacího jazyku

Programovací jazyk CFC (volné bloky) byl vybrán z důvodů, že spolu s vizualizací půjde funkce programu dobře demonstrovat a pro navrhnoutou linku se nestane nepřehledným. Nástroje jazyka CFC jsou umístěny v pravém sloupci pracovní plochy. Na rozdíl od příbuzného jazyka FBD neobsahuje CFC nástroje rozříděné na matematické funkce, booleovské funkce atd. V CFC jsou základní nástroje s nedefinovanou funkcí, kterou jim programátor přiřadí po umístění do programu. Do programu je potřeba vložit a definovat všechny potřebné vstupy a výstupy (u většího programu by byly zdouhavé a nepřehledné). Jelikož celá linka pracuje s digitálními signály (dvoustavovými), lze program vytvořit za pomoci logických hradel a klopných obvodů (paměťových členů). Hradla jsou využita k vytvoření podmínek pro chod jednotlivých motorů (za jakých okolností se má motor zapnout nebo vypnout). Paměťové členy jsou v programu využity k udržení důležitých stavů pro chod linky (tlačítko PALETA, které zapíná první motor a umožňuje obsluze poslat paletu na linku, nemůže být zmáčknuto permanentně do doby, než paleta sjede na druhý dopravník poháněný motorem M2).

Užitečnou funkcí je přiřazení jména bloku klopného obvodu. Toto pojmenování způsobí, že SoMachine nabídne vytvoření (deklaraci) proměnné z tohoto bloku. Jedná se o velmi užitečnou funkci, které významně zkrátí programování časově i co se délky programu týče. Výborným příkladem je hned první RS klopný obvod. Tento obvod udržuje informaci, zda je linka zapnutá nebo vypnutá (START je přiveden na vstup set a STOP na vstup reset). Každý motor musí mít informaci o tom, zda je linka v provozu. Klopnému obvodu bude vytvořen pro první motor, pojmenován START\_1 a bude definován jako proměnná. Pro všechny ostatní motory již není třeba tento blok RS obvodu vkládat a přiřazovat mu vstupy, ale stačí vložit vstup START\_1. Definování funkce bloku a vytvoření proměnné je vidět na obr. 3.6.



Obr. 3.6 – Přiřazení funkce bloku a tabulka deklarování proměnné

Program zajišťující chod linky byl vytvořen za pomoci vstupů, výstupů a bloků s logickými operandy nebo funkcí klopného obvodu. Pro každý motor (či dvojici motorů v případech zataček) byl z těchto nástrojů vytvořen samostatný řídicí objekt. Některé motory mají pro své spuštění a chod shodné podmínky s jinými motory na lince, pro tyto motory byla použita stejná struktura, jen s použitím čidel, na která daný motor reaguje. Na lince se však nachází také spousta motorů s jedinečnými požadavky na své spuštění a chod a struktura pro tyto motory musela být vytvořena od nuly. V následujícím textu budou tyto požadavky a funkce programu rozebrány.

Jako první bylo naprogramováno zapínání a vypínání linky tlačítka START a STOP. Signály z tlačítek byly přivedeny na vstup RS obvodu, který uchová informaci o posledním stisknutém tlačítku. Tento RS obvod je pojmenován jako RS\_START1 a deklarován jako proměnná, která je přítomna v každé struktuře pro všech 25 motorů a musí být aktivní (jednička), aby bylo možné motor spustit.

První motor pro spuštění potřebuje (kromě požadavku, aby linka byla pod proudem a aktivní) zmáčknutí tlačítka PALETA. Tyto dva signály jsou přivedeny na vstupy bloku AND, výstup hradla je přiveden na vstup set RS obvodu, jehož výstup je veden do bloku výstup KM1, ten ovládá první motor. Vstup BQ2 je připojen na vstup reset RS obvodu a motor vypíná. Paleta s první poslanou cívkou tedy musí urazit vzdálenost prvních dvou dopravníků, než je možné poslat paletu druhou. Jak bylo zmíněno v druhé kapitole, jedná se o linku, po které jezdí naformované cívky. Formování je proces trvající zhruba 5 minut podle náročnosti vytváření cívky. Prodleva pár vteřin možná desítek, během kterých bude paleta překonávat vzdálenost dvou dopravníků, neznamená pro pracovníka žádné zdržení.

Program je vytvořen tak, že motory jsou vypínány po projetí palety a zapínány těsně před příjezdem palety na dopravník, který pohání (je zbytečné mít zapnuté všechny motory neustále, když by pět minut dopravníky jely naprázdno). Ošetřen je i případ poslání dvou palet těsně za sebou (ne příliš častý příklad, pracovník naformovanou cívku na paletě odesílá ihned, aby se mu uvolnilo místo na pracovním stole), linka obě palety dopravila k jejich určitým pracovištím, aniž by se stalo, že první paleta vypne motor za sebou, na kterém se nachází druhá paleta, která již projela kolem čidla a nemá jak motor zapnout. Tento případ není příliš pravděpodobný (pracovník nemá důvod cívku ihned po naformování neposlat).

Z výše zmíněných důvodů jsou struktury pro motor tři až sedmáct (doprava palety k semaforu) vytvořeny stejným způsobem jako struktura pro motor dva. Paleta po odeslání na první dopravník aktivuje snímač BQ1, tento signál spolu se signálem RS\_START1 jsou přivedeny znovu na blok AND a výstup bloku je veden na vstup set RS obvodu, který ovládá

KM2. Na vstup reset je přiveden výstup z dalšího hradla AND, na jehož vstupy jsou přivedeny signály BQ3 a RS\_KM1. Druhý motor je tedy vypnut v případě, kdy je aktivováno čidlo na následujícím dopravníku a zároveň předchozí dopravník není v provozu. První paleta aktivuje BQ3, avšak druhá paleta ještě nestihla aktivovat BQ2 a první motor je stále aktivní, a proto nebude vypnut ani druhý. Takto je možné poslat i více palet za sebou (je velmi nepravděpodobné, že tato situace nastane) a až poslední paleta bude vypínat motory za sebou.

Dopravník ovládaný motorem osmnáct se nachází těsně před rozdvojením linky a je nutné více podmínek ke správnému řízení. Opět je potřeba, aby linka byla v chodu a spuštěn je motor aktivací signálu BQ11 (čidlo předcházející tomuto dopravníku). Signály jsou opět vedeny na blok AND a výstup tohoto bloku je přiveden na vstup set RS\_KM18a. K vypnutí tohoto motoru dojde v případě, že předchozí motor je neaktivní a RS\_KM17 je roven nule a zároveň je aktivní jeden ze signálů BQ14 nebo BQ16. Tyto signály jsou zpracovány bloky OR a AND a ovládají vstup reset. Tímto způsobem je vyřešena hlavní větev (a) sloužící k zapínání a vypínání motoru. Je nutné vytvořit větev vedlejší (b), která má za úkol pozastavit chod tohoto dopravníku ve chvíli, kdy je paleta přítomná v prostoru rozdvojení (od aktivace BQ13 do aktivace jednoho ze signálů BQ16 nebo BQ14). V prostoru semaforu linky se smí nacházet vždy jen jedna paleta. RS\_KM18b má na vstup set přiveden signál BQ13 a na reset je připojen výstup OR pro BQ14 a BQ16. Výstupy obou RS obvodů jsou připojeny na hradlo XOR. Pro lepší představu o chodu M18 je přidána tab. 3.1.

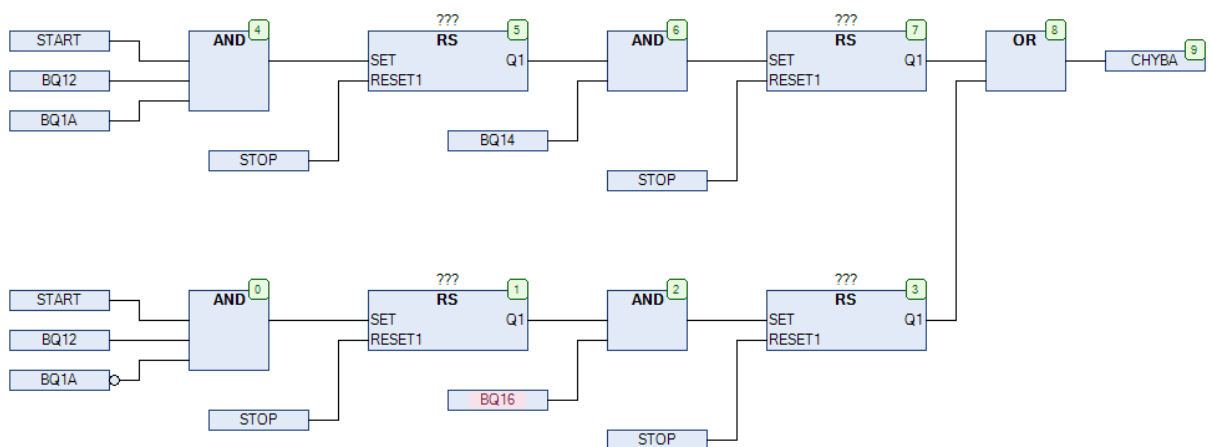
Tab. 3.1 – Pravdivostní tabulka chodu M18

RS_KM18a	RS_KM18b	XOR	Funkce motoru pro danou kombinaci
0	0	0	Motor vypnut (čeká na příjezd nové palety)
0	1	1	Podmínky jsou pro RS obvody nastaveny tak že tento případ nikdy nenastane.
1	0	1	Motor v chodu (veze paletu k semaforu)
1	1	0	Motor pozastaven (čeká na odjezd palety ze semaforu)

Naprogramování chodu M19 je podobné motorům M2 až M17, pouze je vypínán jedním z dvojice signálů BQ14, BQ16, záleží, zda je, nebo není aktivován výstup Iv. Tento výstup je aktivován v případě, že je linka zapnutá, je aktivní BQ12 a BQ1A detekuje kov. Tyto signály jsou zpracovány blokem AND a jeho výstup je znovu přiveden na set RS obvodu. Iv je deaktivován aktivací BQ16.

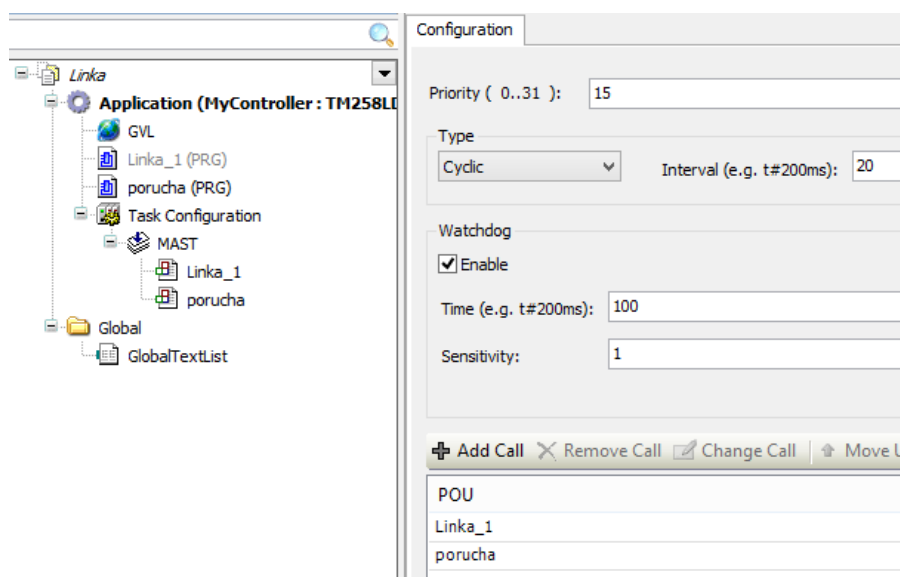
Při programování koncových cest byla odhalena chyba v původním návrhu. Poslední dva dopravníky obou cest by nebyly schopny dovést dvě okamžitě za sebou poslané palety ke koncovým snímačům BQ15 nebo BQ18. První aktivace tohoto signálu by druhou paletu zastavila na dopravníku bez šance dosáhnout cíle. Návrh s možným rozšířením počítal a byla přidána rozšiřující čidla BQ1B a BQ2B. Které při aktivaci spolu s neaktivním předešlým motorem vypnou předposlední motor dané cesty (M20 nebo M24).

Kromě programu řízení linky byl vytvořen také program signalizace poruchy pneumatického členu. V případě poruchy tlakového vedení nebo zaseknutí ramene v jedné poloze by se mohlo stát, že paleta bude poslána na nesprávnou cestu. M19 by v takovém případě dovezl až k nesprávnému čidlu. Program rozsvítí varovnou kontrolku CHYBA na ovládacím panelu linky ve dvou případech. Má být aktivován signál BQ16, ale je aktivován BQ14 a obráceně. Linka musí být při rozsvícení CHYBA zastavena tlačítkem STOP. Program porucha je k vidění na obr. 3.7, kompletní program součástí přílohy A.



Obr. 3.7 – Program signalizující poruchu pneumatického členu

Aby PLC věděl, že s vytvořenými programy může pracovat, je třeba v levém sloupečku otevřít kolonku MAST a v ní vybrat programy, se kterými bude PLC pracovat. Programy umístěné do tohoto objektu jsou vykonávány se sestupnou prioritou, nejvýše umístěný program má nejvyšší prioritu. V okně MAST lze nastavit dobu cyklu vykonávání programu (či jiný způsob vykonávání programu) viz. obr. 3.8.



Obr. 3.8 – Vybrání a přiřazení priority programům

### 3.3 VIZUALIZACE PROGRAMU

Vizualizace je primárně využívána pro tvorbu operátorského řídicího rozhraní pro dotykové panely. Poté slouží jako ovládací prvek technologického procesu stejně jako ovládací panel u navrhnuté linky. Disponuje velkou spoustou nástrojů umožňujících vytvořit ovládací rozhraní prakticky pro jakýkoliv proces (tlačítka, signálky, přepínače budíkové zobrazovače analogových signálů a spoustu dalších).

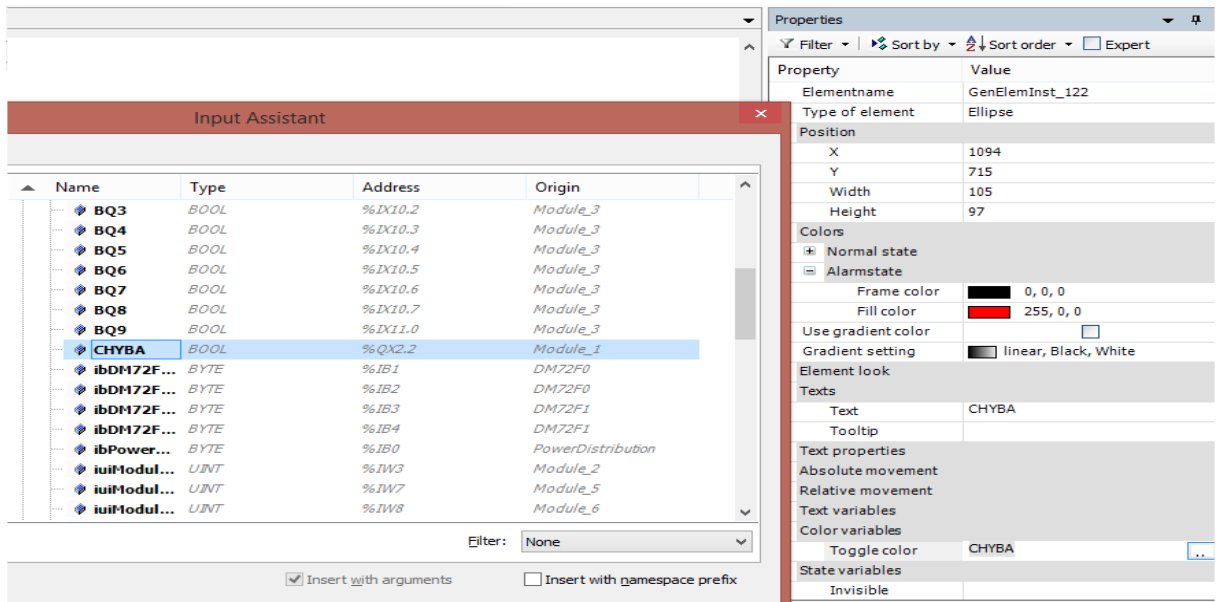
Pro účely této diplomové práce byla vizualizace vytvořena jako nástroj pro demonstraci funkčnosti linky. Po úvahách, jak demonstrovat funkčnost navrhnutého řešení padla volba právě na vizualizaci. Další ukázka práce se Somachine, zobrazení funkce linky bude dobře a snadno pochopitelné (motory simulovány signálkami snímače tlačítka), a toto řešení je realizovatelné i bez drahého automatu, na rozdíl od ukázky funkčnosti programu s připojením signálků a kontaktů k reálnému PLC.

Motory (dopravníky poháněné těmito motory) jsou simulovány obdélníky měnícími barvu. Bílá barva znamená, že daný dopravník není aktivní, zelená značí dopravník v chodu (aktivní motor který ho pohání). Snímače jsou simulovány tlačítka. Tyto komponenty jsou rozmístěny stejně jako jejich ekvivalenty v návrhu linky a na začátku je naznačen ovládací panel se třemi tlačítky a signálkou (kruhový objekt měnící barvu z bílé na červenou) stejně jako v návrhu.

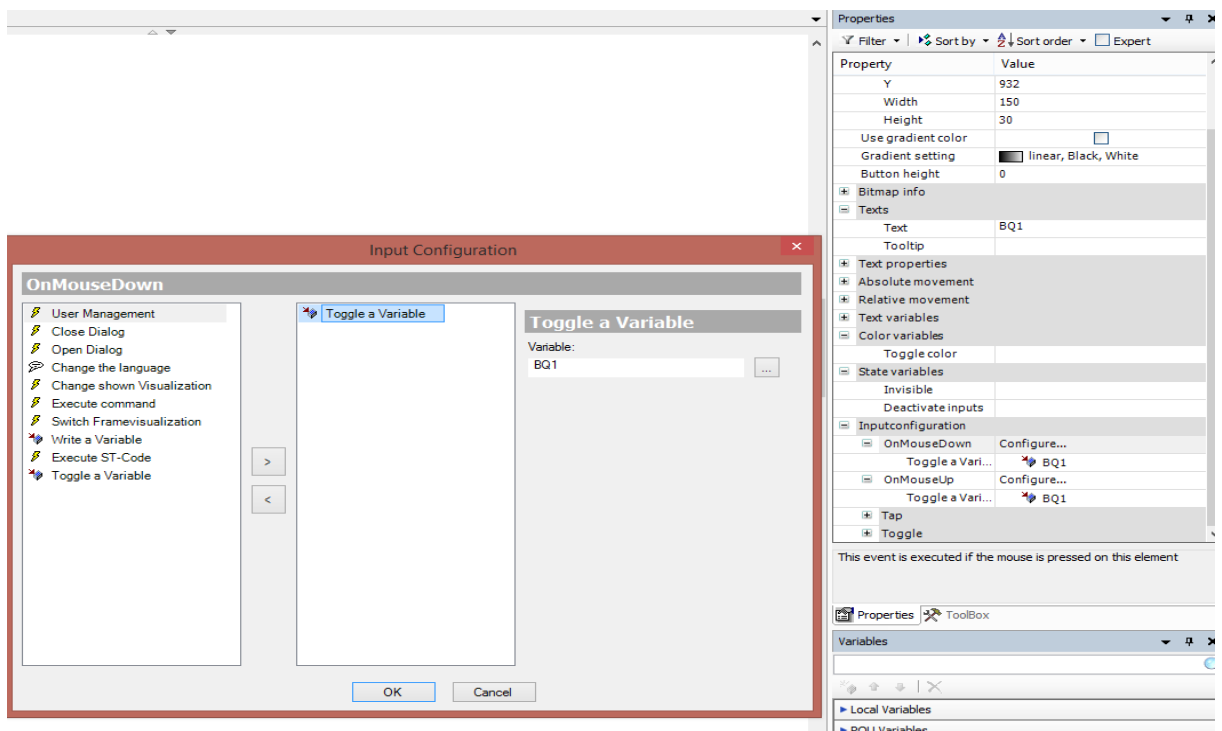
Na obr. 3.9 je ukázáno, jak byla nastavena signálka. Kruhový objekt s černým ohraničením a bílou výplní (normal state). Alarmový stav má taktéž černé ohraničení, ale

červenou výplň. Color variables byla přiřazena výstupní proměnná chyba. Pro dopravníky je téměř totožné nastavení. Jediný rozdíl je v barvě alarmového stavu, ta je zelená.

Obr. 3.10 znázorňuje přiřazení vstupní proměnné danému tlačítku. Při stisknutí tlačítka bude proměnná aktivována (onMouseDown) a při uvolnění tlačítka bude deaktivována (onMouseUp).



Obr. 3.9 – Nastavení kruhového objektu (demonstrující funkci signálky)



Obr. 3.10 – Přiřazení proměnných tlačítku

## 4 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření kompletního návrhu výrobní linky včetně řídicího programu a ověření funkčnosti návrhu.

Teoretická část je vytvořena s důrazem na seznámení čtenáře s důležitými pojmy objevujícími se v návrhu. Přibližuje funkci, druhy a programovací možnosti PLC. Pozornost je rovněž věnována použitým elektrickým zařízením. Pro každé je popsán princip činnosti a jeho funkce v návrhu. Součástí je také detailní popis tvorby řídicího programu a práce se SoMachine. Věřím, že teoretická část práce by mohla být využita jako studijní materiál v praktičtějších předmětech jak bakalářského, tak magisterského studia, jako jsou Průmyslové řídicí systémy, Laboratorní cvičení z oboru I a II nebo Základy mechatroniky.

Praktická část práce obsahuje nákres linky, schémata zapojení rozvaděče a řídicí program s vizualizací demonstrující funkčnost programu. Nejdříve byl vytvořen nákres linky, na jehož základě byl vytvářen vhodný rozvaděč s odpovídajícím počtem elektrických zařízení jako jsou např. stykače. Při návrhu rozvaděče bylo počítáno s možným rozšířením návrhu a byly přidány svorky a elektrické přístroje, které nejsou zapojeny. Stejně tak byly ponechány volné vstupy a výstupy u PLC. Pro kompletní návrh linky a návrh připojení signálů k PLC byl vytvořen program v prostředí SoMachine. Během tvorby programu se několikrát ukázalo, že rezerva při návrhu rozvaděče je nezbytná, v průběhu vývoje programu se původní návrh linky ukázal jako nefunkční a musel být několikrát upravován, ať už se jednalo o změnu pozice snímače nebo přidání dalších snímačů. Výsledný návrh rozvaděče a linky byl konzultován s pracovníky z oboru.

## POUŽITÁ LITERATURA

- KUBIE, I. 2013. Elektrické motory. *Elektro. Special* (2015), 8 – 9 s. [online]. FCC Public s.r.o., Pod Vodárenskou věží 4, 182 08 Praha 8. [25.7.2018]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer//2015/25/ 25\\_2015/index.html#p=1](http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer//2015/25/ 25_2015/index.html#p=1).
- ŠMEJKAL, L.; MARTINÁSKOVÁ, M. 2002. *PLC a automatizace 1: základní pojmy, úvod do programování*. Praha: BEN - technická literatura. 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
- ŠTACH, J. 2018. Odborná konzultace. Hrušovany nad Jevišovkou: Osobní sdělení.
- VOJÁČEK, A. 2005. *Optické senzory přiblížení - obecný popis*. [online]. Automatizace.hw.cz Praha: HW server. [cit. 30. 7. 2018]. ISSN 1803-6392. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>.
- VOJÁČEK, A. 2011. *Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys)*. [online]. Automatizace.hw.cz Praha: HW server. [cit. 13. 6. 2018]. ISSN 1803-6392. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>.
- VOJÁČEK, A. 2014a. *Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis*. [online]. Automatizace.hw.cz Praha: HW server. [cit. 30. 7. 2018]. ISSN 1803-6392. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>.
- VOJÁČEK, A. 2014b. *Volba vhodného snímače / detektoru přítomnosti objektů*. [online]. Automatizace.hw.cz Praha: HW server. [cit. 29. 7. 2018]. ISSN 1803-6392. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/volba-vhodneho-snimace-detektoru-pritomnosti-objektu.html>.
- VOJÁČEK, A. 2018. *TEST - Nový ekonomický 7" HMI panel Weintek MT8071iP*. [online]. Automatizace.hw.cz Praha: HW server. [cit. 11. 6. 2018]. ISSN 1803-6392. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/test-novy-ekonomicky-7-hmi-panel-weintek-mt8071ip.html>.

## **PŘÍLOHY**

**A - CD**

**B - Technická dokumentace rozvaděče a linky**

Příloha obsahuje kompletní nákresy linky a rozvaděče.