

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STROJNÍ



DIPLOMOVÁ
PRÁCE

2020

JANA
KOUBOVÁ

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní
Ústav přístrojové a řídicí techniky



Diplomová práce

DIDAKTICKÉ ÚLOHY PRO DIGITÁLNÍ PNEUMATIKU S VYUŽITÍM FMT (FESTO MOTION TERMINAL)

Bc. Jana Koubová

Vedoucí práce: Ing. Marie Martinásková, Ph.D.

Studijní program: Strojní inženýrství, prezenční, magisterský

Obor: Přístrojová a řídicí technika

19. srpna 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koubová** Jméno: **Jana** Osobní číslo: **439036**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Přístrojová a řídicí technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Didaktické úlohy pro digitální pneumatiku s využitím FMT (Festo Motion Terminal)

Název diplomové práce anglicky:

Tutorials for digital pneumatics - Applications of the FMT (Festo Motion Terminal)

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte komplexní funkce speciálního ventilového terminálu pro digitální pneumatiku (FMT-Festo Motion Terminal), uveďte přehled základních charakteristik, funkcí a možností aplikací
2. Prostudujte hardwarové a softwarové charakteristiky a hlavní aplikační oblast programovatelného automatu (PLC) umístěného v CPX terminálu spolu s FMT
3. Navrhněte a odzkoušejte sadu výukových úloh na aplikaci FMT pro účely cvičení a semestrálních projektů
4. Zpracujte podrobnou didaktickou dokumentaci pro každou navrženou úlohu včetně kontrolních testů

Seznam doporučené literatury:

- [1] Beneš, P., Mykiska, A.: Pneumatické řídicí systémy. Nadstavbový seminář z pneumatiky. Učebnice Festo Didactic pro postgraduální studium. ČVUT v Praze, 1989, ISBN 80-01-00130-X
- [2] Martinásková, M., Šmejkal, L.: Řízení programovatelnými automaty III: Softwarové vybavení. ČVUT v Praze, 2003. ISBN 80-0102804-6
- [3] Love, J.: Process Automation Handbook. A guide to Theory and Practice. London: Springer Verlag, 2007
- [4] Beater, P.: Pneumatic Drives: System Design, Modelling and Control. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. ISBN 3-540-69470-6.
- [5] FMT - system manual

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

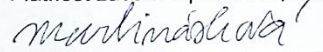
Ing. Marie Martinásková, Ph.D., U12110.3

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.08.2020**

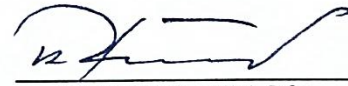
Platnost zadání diplomové práce:



Ing. Marie Martinásková, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

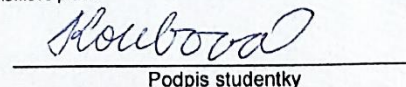


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání



Podpis studentky

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala paní Ing. Marii Martináskové, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, cenné rady, konzultace a velmi lidský přístup v průběhu celého mého magisterského studia. Dále chci poděkovat svým nejbližším, kteří mě ve studiu neúnavně podporovali. Děkuji také firmě Festo za úvodní školení, které poskytla studentům pracujícím s terminálem FMT.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Didaktické úlohy pro digitální pneumatiku s využitím FMT (Festo Motion Terminal) vypracovala pod vedením vedoucí diplomové práce samostatně s využitím zdrojů, které jsou všechny v práci uvedeny.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 19. srpna 2020



.....
Bc. Jana Koubová

ABSTRAKT

V této práci je nejprve koncepčně popsán vývoj pneumatiky přes elektropneumatiku až k digitální pneumatice. Dále jsou popsány vlastnosti a možnosti využití FMT a modulárního řídicího bloku CPX. Tato práce obsahuje také sadu výukových úloh pro práci s FMT pro účely cvičení a seminárních prací spolu s kontrolními testy znalostí. Úlohy jsou řešeny ve vývojovém prostředí CODESYS. Práce obsahuje také návod na instalaci tohoto prostředí tak, aby bylo kompatibilní s FMT terminálem v konfiguraci, v jaké je přítomný v laboratoři C1-109 FS ČVUT.

KLÍČOVÁ SLOVA

Festo Motion Terminal, FMT, VTEM, CPX, digitální pneumatika, ventilový terminál, programovatelný logický automat, PLC, snímač polohy, koncový spínač, strukturovaný text, ST, CODESYS

ABSTRACT

In this thesis firstly the concept evolution of pneumatics, through electro-pneumatics towards digital pneumatics is described. Secondly the characteristics and application fields are described for the FMT and for the CPX modular control block. This work contains tutorials for how to create Applications for FMT in CODESYS software environment to be used in education and for future seminar works. For each tutorial a short test is also provided to test the students' knowledge. This thesis also contains a tutorial for CODESYS installation as to be compatible with FMT terminal in the configuration that is present at the laboratory C1-109 of Faculty of Mechanical Engineering at CTU.

KEY WORDS

Festo Motion Terminal, FMT, VTEM, CPX, digital pneumatics, valve terminal, programmable logic controller, PLC, proximity switch, structured text, ST, CODESYS

TITLE TRANSLATION

Tutorials for digital pneumatics – Applications of the FMT (Festo Motion Terminal)

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUBOVÁ, Jana. *Didaktické úlohy pro digitální pneumatiku s využitím FMT (Festo Motion Terminal)*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky. Vedoucí práce Ing. Marie Martinásková, Ph.D.

OBSAH

1.	ÚVOD	1
1.1.	CÍL PRÁCE	1
1.2.	ČLENĚNÍ PRÁCE	1
2.	OD PNEUMATIKY K DIGITÁLNÍ PNEUMATICE	2
2.1.	PNEUMATIKA	2
2.1.1.	PRVKY PRO VÝROBU A ÚPRAVU VZDUCHU	3
2.1.2.	ROZVADĚČE A VENTILY	4
2.1.3.	POHONY – PNEUMATICKÉ MOTORY	4
2.1.4.	ROZVODY VZDUCHU A DALŠÍ PRVKY	5
2.1.5.	PNEUMATICKÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY	6
2.2.	ELEKTROPNEUMATIKA	6
2.2.1.	ELEKTRICKÉ PRVKY	6
2.2.2.	ELEKTROPNEUMATICKÉ PRVKY	7
2.2.3.	ELEKTRICKÉ ŘÍZENÍ PNEUMATICKÝCH PRVKŮ	7
2.3.	DIGITÁLNÍ PNEUMATIKA	8
2.3.1.	PLC	9
2.3.2.	PROGRAMOVACÍ JAZYKY PODLE STANDARDU IEC 61131-3	9
2.3.3.	PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY A SBĚRNICE	10
2.3.4.	TCP/IP ARCHITEKTURA – IP ADRESA, KOMUNIKACE V SÍTI	11
2.3.5.	VENTILOVÉ TERMINÁLY	11
2.3.6.	DIGITÁLNÍ ŘÍZENÍ	12
3.	FESTO MOTION TERMINAL	12
3.1.	CHARAKTERISTIKY FMT	13
3.1.1.	STAVBA TERMINÁLU	13
3.1.2.	UNIVERZÁLNÍ VENTIL VEVN A JEHO STAVBA	14
3.1.3.	KOMPLEXNÍ FUNKCE FMT	16
3.1.4.	KOMUNIKACE	18
3.1.5.	SHRNUTÍ ZÁKLADNÍCH CHARAKTERISTIK FMT	19
3.2.	FESTO MOTION APPS	19
3.2.1.	FUNKCE SPÍNACÍCH VENTILŮ	20
3.2.2.	PROPORCIONÁLNÍ REGULACE PRŮTOKU	20
3.2.3.	PROPORCIONÁLNÍ REGULACE TLAKU	20
3.2.4.	REGULACE TLAKU PODLE MODELU	21
3.2.5.	ŠKRCENÍ PŘÍVODU A ODVĚTRÁNÍ	21
3.2.6.	POHYB ECO	21
3.2.7.	PŘEDVOLBA ČASU POHYBU	22
3.2.8.	VOLITELNÁ ÚROVEŇ TLAKU	22
3.2.9.	SOFT STOP	22
3.2.10.	DIAGNOSTIKA ÚNIKŮ	23
3.2.11.	POZICOVÁNÍ A PROFIL POHYBU	23
3.3.	PRŮMYSLOVÉ APLIKACE FMT	23
3.3.1.	TRANSPORT WAFERŮ (SUBSTRÁTOVÝCH DISKŮ)	23
3.3.2.	PNEUMATICKÉ PRŮMYSLOVÉ MANIPULÁTORY	24
3.3.3.	ZÁBAVNÍ PRŮMYSL	24
3.3.4.	TOVÁRNA NA OBUV A KOŽENÉ ZBOŽÍ	25
3.3.5.	VÝROBA PNEUMATIK	25
3.3.6.	APLIKACE NA ROPNÉ PLOŠINĚ	26
3.3.7.	BIONICKÉ ROBOTY	27
3.3.8.	BALICÍ LINKA	28

4.	CPX TERMINÁL	28
4.1.	HARDWAROVÉ CHARAKTERISTIKY	28
4.2.	SOFTWAREVÉ CHARAKTERISTIKY	29
4.3.	HLAVNÍ APLIKAČNÍ OBLAST	29
4.4.	CPX-CEC-S1-V3	29
5.	CODESYS	30
6.	APLIKACE DIDAKTIKY TECHNICKÝCH PŘEDMĚTŮ NA ÚLOHY PRO FMT DLE [56]	30
6.1.	MOTIVACE STUDENTŮ PŘI PRÁCI S FMT V LABORATOŘI	31
6.2.	ŘAZENÍ ÚLOH DLE TAXONOMIE POZNÁVACÍCH CÍLŮ	31
6.3.	NAVRŽENÍ VÝSTUPU Z ÚLOHY	31
7.	PŘÍPRAVA PRO DIDAKTICKÉ ÚLOHY	32
7.1.	INSTRUMENTACE PRO ÚLOHY	32
7.2.	INSTALACE CODESYS PRO VÝVOJ APLIKACÍ PRO FMT	35
7.3.	APLIKACE PRO FMT V PROSTŘEDÍ CODESYS	37
7.3.1.	ZALOŽENÍ PROJEKTU PRO FMT APLIKACI	37
7.3.2.	KOMUNIKAČNÍ NASTAVENÍ - BRÁNA	39
7.3.3.	HLAVNÍ ČÁSTI PROJEKTU FMT APLIKACE	42
8.	DIDAKTICKÉ ÚLOHY	47
8.1.	ÚLOHA 1 : WEBOVÝ INTERFACE FMT	47
8.1.1.	ZADÁNÍ ÚLOHY	47
8.1.2.	DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE	47
8.1.3.	NÁVOD	48
8.1.4.	KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	53
8.2.	ÚLOHA 2 : MANUÁLNÍ OVLÁDÁNÍ PNEUMATICKÉHO AKTUÁTORU	54
8.2.1.	ZADÁNÍ ÚLOHY	54
8.2.2.	DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE	54
8.2.3.	NÁVOD – ŘEŠENÍ	55
8.2.4.	KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	60
8.3.	ÚLOHA 3 : SEKVENČNÍ PROVOZ JEDNOHO VÁLCE S KONCOVÝMI SENZORY	61
8.3.1.	ZADÁNÍ ÚLOHY	61
8.3.2.	DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE	61
8.3.3.	NÁVOD – ŘEŠENÍ	62
8.3.4.	KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	65
8.4.	ÚLOHA 4 : ČASOVAČ	66
8.4.1.	ZADÁNÍ ÚLOHY	66
8.4.2.	DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE	66
8.4.3.	NÁVOD – ŘEŠENÍ	67
8.4.4.	KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	72
8.5.	ÚLOHA 5 : ČÍTAČ	73
8.5.1.	ZADÁNÍ ÚLOHY	73
8.5.2.	DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE	73
8.5.3.	NÁVOD – ŘEŠENÍ	74
8.5.4.	KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	77
8.6.	ÚLOHA 6 : KOMPLEXNÍ SEKVENCE VÍCE POHONŮ	78
8.6.1.	ZADÁNÍ ÚLOHY	78
8.6.2.	DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE	79
8.6.3.	NÁVOD – ŘEŠENÍ	79
8.6.4.	KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	83
9.	ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ	84
10.	OBSAH PŘILOŽENÉHO USB FLASH DISKU	85
11.	SEZNAM ZDROJŮ	86

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Jednotka pro úpravu vzduchu (čistič vzduchu, redukční ventil, maznice) [4].....	3
Obr. 2	Schematické znázornění jednotky na úpravu vzduchu (dvě verze) [4]	3
Obr. 3	Příklad schematického značení rozvaděče (schematická značka ze softwarového prostředí FluidSIM®).....	4
Obr. 4	Schematické značky a realizace ventilových hradel, vlevo logická funkce OR, vpravo AND [4].....	4
Obr. 5	Konstrukce dvočinného přímočarého motoru bez tlumení [4]	5
Obr. 6	Schéma pneumatického řízení s rozdělením úrovní [7]	6
Obr. 7	Schematické značky bezdotykových spínačů, zleva kapacitní, magnetický, induktivní a optický. Značky ze softwarového prostředí FluidSIM®	7
Obr. 8	Příklad elektrického řízení dvou pneumatických motorů [9]	7
Obr. 9	Zjednodušení zapojení elektrického řízení pomocí PLC [11].....	8
Obr. 10	Vlevo: Schematická reprezentace PLC pomocí bloků [10], vpravo: cyklus programu PLC [14]	9
Obr. 11	Vrstvy ISO/OSI modelu [16]	10
Obr. 12	Připojení motoru k CNC a MPC řízení [19].....	12
Obr. 13	FMT s Motion Apps [12].....	12
Obr. 14	Stavba Festo Motion Terminálu [21]	13
Obr. 15	Varianty FMT dle počtu ventilů (zleva varianty s 2, 4 a 8 VEVM ventily) [22]	14
Obr. 16	Můstkové uspořádání uvnitř VEVM ventilu [23].....	14
Obr. 17	Schematická značka ventilu VEVM pro všechny aplikace [21]	14
Obr. 18	Prostorové uspořádání komponentů uvnitř VEVM ventilu [23].....	15
Obr. 19	Ohybový piezoaktuátor [23].....	15
Obr. 20	Porovnání spotřeby energie u solenoidových a piezoventilů [24]	15
Obr. 21	Základní koncepční schéma adaptivního řízení otevřenou smyčkou [25]	16
Obr. 22	Optimalizované průběhy pro vyjetí pístu [20].....	16
Obr. 23	Porovnání standardní operace vyjetí a optimalizované operace řízené FMT [20]	17
Obr. 24	Porovnání naměřených parametrů a parametrů získaných odhadem z matematického modelu systému [27]	18
Obr. 25	Přenos parametrů určujících funkci ventilu VEVM na 6 bytech [28]	20
Obr. 26	Rozdílné průběhy tlaku v kanálech 2 a 4 pokud aplikace Pohon ECO není a je použita [21]	21
Obr. 27	Schéma znázorňující funkci aplikace Volitelná úroveň tlaku [21].....	22
Obr. 28	Transport waferů [39].....	23
Obr. 29	Pneumatický manipulátor firmy DOTEC využívající FMT [40]	24
Obr. 30	Sedačka MX4D Motion EFX pro 4D kina s odhalenou spodní konstrukcí [41].....	24
Obr. 31	Vlevo: zapojení FMT v přístroji, vpravo: hlava stroje na lepení [42]	25
Obr. 32	Stanice vulkanizačního lisování [43]	25
Obr. 33	Vytváření vzorů na vrtvách gumy s použitím FMT [45].....	26
Obr. 34	Vlevo: systém skladování trubek na ropné plošině, vpravo: realizace západky ovládané pneumatickým pohonem [13].....	26
Obr. 35	Vlevo: BionicCobot [49], vpravo: BionicMotionRobot [48].....	27
Obr. 36	Balící stroj s využitím FMT [51].....	28
Obr. 37	Stavba řídicího bloku CPX-CEC-S1-V3, pohled shora [54]	29
Obr. 38	Stand-alone provoz CPX-CEC [52].....	30
Obr. 39	Senzor polohy Festo Didactic s upevněním na válec [57]	32
Obr. 40	DSNU-20-100-PPV-A v úpravě pro Festo Didactic [58].....	32
Obr. 41	JUV Festo Didactic [59].....	32
Obr. 42	Learntop-L Festo Didactic [60].....	33

Obr. 43	Profilová deska Festo Didactic [61]	33
Obr. 44	Napájecí modul EduTrainer® [62]	33
Obr. 45	Vizualizace FMT dané konfigurace z konfiguračního okna [63]	33
Obr. 46	Napájecí kabel pro FMT	34
Obr. 47	3pinový propojovací kabel [64]	34
Obr. 48	Zleva: hadice a nástrčná redukovaná spojka pro napájení FMT, hadice a nástrčné redukované spojky pro jeden aktuátor, hadice a nástrčné redukované spojky pro druhý aktuátor, ethernetový kabel, záslepka [65]	34
Obr. 49	Správná verze CODESYS pro FMT v lab. C1-109	35
Obr. 50	Festo Configuration Tool - PlugIn na webu Festo Support Portal	35
Obr. 51	Správný balík cílové podpory pro konfiguraci FMT v C1-109	36
Obr. 52	Umístění přístupu do nástroje Package Manager ve vývojovém prostředí CODESYS	36
Obr. 53	Knihovna funkčních bloků pro terminál VTEM dostupná na stránkách Festo Support Portal	37
Obr. 54	Umístění nainstalované knihovny v nástroji Library Repository po restartu	37
Obr. 55	Možnosti založení nového projektu	37
Obr. 56	Volba typu projektu	37
Obr. 57	Volba zařízení a programovacího jazyka základního PLC programu	38
Obr. 58	Správce knihoven (Library Manager) daného projektu	38
Obr. 59	Vybrání knihovny "Festo_VTEM_Devcon" pro přidání do správce knihoven daného projektu	38
Obr. 60	Zjištění IP adresy CPX modulu v prostředí CODESYS	39
Obr. 61	Změna IP adresy PC s operačním systémem Windows	39
Obr. 62	Použití alternativní konfigurace pro nastavené IP adresy počítače pro komunikaci s CPX	40
Obr. 63	Pozice ikony Login na horní liště	40
Obr. 64	Komunikace přes bránu	40
Obr. 65	Dialogové okno dotazující se na automatické provedení prohledávání sítě za účelem automatického navázání komunikace	40
Obr. 66	Načtení konfigurace CPX systému	41
Obr. 67	Načtená konfigurace CPX systému	41
Obr. 68	Přidání konfigurace CPX systému do stromové struktury projektu	41
Obr. 69	Stromová struktura výukového projektu	42
Obr. 70	Přidání GVL do struktury aplikace a příklad GVL s deklarací proměnných	43
Obr. 71	Vložení nové POU	43
Obr. 72	Vložení předpřipraveného bloku FB_ValveControl pomocí Input Assistant	44
Obr. 73	Dokumentace k bloku FB_ValveControl v okně nástroje Input Assistant	44
Obr. 74	Zapojený funkční blok FB_ValveControl	45
Obr. 75	Nastavení hlavní úlohy	45
Obr. 76	Přidání vizualizace do struktury aplikace	46
Obr. 77	Provázání tlačítka s proměnnou pomocí Input Assistant	46
Obr. 78	Zapojení elektrického napájení FMT	48
Obr. 79	Ethernetový port na CTMM-S1-C ovladači	48
Obr. 80	Pneumatické propojení prvků	49
Obr. 81	Zapnutí zdrojů energií	49
Obr. 82	Celkový pohled na zapojení na pracovišti v lab. C1-109	49
Obr. 83	Přístup do webového rozhraní	50
Obr. 84	Okno "Configuration" (konfigurace)	50
Obr. 85	Převzetí řízení ventilu od PLC	51
Obr. 86	Ventil je připraven pro konfiguraci z webového rozhraní	51
Obr. 87	Tlačítka pro přidání a odebrání aplikace Motion App danému ventilu	51

Obr. 88	"Záložka "Configuration" aplikace Leakage diagnostics	52
Obr. 89	Záložka "Test mode" Motion App č.12 - Leakage diagnostics (Diagnostika úniků).....	52
Obr. 90	Můstkové uspořádání ventilu VEVM [23].....	53
Obr. 91	Zapojení FMT pro Úlohu 1.....	55
Obr. 92	Upravená část tabulky Cbus-Protocol VTEM – Supply and exhaust flow control (Škracení přívodu a odvětrání).....	57
Obr. 93	Stromová struktura projektu	58
Obr. 94	Vizualizace k řešení Úloze 2	58
Obr. 95	Seznam globálních proměnných řešení Úlohy 2	59
Obr. 96	Dva různé přístupy k programu v ST PLC_PRG řešení Úlohy 2	59
Obr. 97	Zapojení Úlohy 3	62
Obr. 98	Zapojení bezpečnostních konektorů 3-pinového propojovacího kabelu na senzor polohy Festo Didactic	62
Obr. 99	Upravená část tabulky Cbus-Protocol VTEM - ECO drive (Pohyb ECO).....	63
Obr. 100	Globální proměnné řešení Úlohy 3	63
Obr. 101	Vizualizace řešení Úlohy 3	63
Obr. 102	ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 3	64
Obr. 103	Umístění časovačů ve standardní knihovně a náhled do jejich dokumentace	67
Obr. 104	Funkce časovače TOF (z dokumentace v prostředí CODESYS)	68
Obr. 105	Funkce časovače TON (z dokumentace v prostředí CODESYS)	68
Obr. 106	Funkce časovače ST (z dokumentace v prostředí CODESYS)	68
Obr. 107	Otevření okna "Input Assistant" z textového editoru a výběr bloku časovače TP	69
Obr. 108	Automatická deklarace časovače TP a vložení jeho ST struktury do textového editoru	69
Obr. 109	Lokální proměnné PLC_PRG řešení Úlohy 4.....	70
Obr. 110	Globální proměnné řešení Úlohy 4.....	70
Obr. 111	Vizualizace řešení Úlohy 4.....	70
Obr. 112	ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 4.....	71
Obr. 113	Umístění čítačů ve standardní knihovně a náhled do jejich dokumentace	74
Obr. 114	Globální proměnné řešení Úlohy 5	75
Obr. 115	Vizualizace řešení Úlohy 5	75
Obr. 116	Lokální proměnné deklarované v PLC_PRG řešení Úlohy 5.....	75
Obr. 117	ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 5.....	76
Obr. 118	Krokový diagram vytvořený v prostředí Fluidsim® s vyznačenými fázemi.....	78
Obr. 119	Fyzické zapojení Úlohy 6.....	79
Obr. 120	Globální proměnné řešení Úlohy 6.....	80
Obr. 121	Lokální proměnné v programu PLC_PRG řešení Úlohy 6.....	80
Obr. 122	Funkční bloky FB_ValveControl v řešení Úloze 6.....	81
Obr. 123	Vizualizace řešení Úlohy 6	81
Obr. 124	ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 6.....	82
Obr. 125	Složky umístěné na USB flash disku.....	85

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC	střídavý proud (z ang. Alternating Current)
CAN	typ sběrnice (z ang. Controller Area Network)
CFC	grafický programovací jazyk podobný FBD (z ang. Continuous Function Chart)
CNC	číslicové řízení (z ang. Computer Numeric Control)
CODESYS	softwarové prostředí pro programování PLC (z ang. Controller Development System)
CPU	centrální procesorová jednotka (z ang. Central Processing Unit)
CTD	dopředný čítač, čítání nahoru (z ang. Up Counter)
CTU	zpětný čítač, čítání dolů (z ang. Down Counter)
CTUD	kombinovaný čítač, obousměrné čítání (z ang. Up Down Counter)
DC	stejnoseměrný proud (z ang. Direct Current)
DHCP	protokol z rodiny TCP/IP (z ang. Dynamic Host Configuration Protocol)
EtherCAT	průmyslová ethernetová sběrnice (ang. Ethernet for Control Automation Technology)
FBD	jazyk funkčního blokového schématu (z ang. Function Block Diagram)
FMT	Festo Motion Terminal
GVL	seznam globálních proměnných (z ang. Global Variable List)
HMI	rozhraní mezi člověkem a strojem (z ang. Human Machine Interface)
IL	jazyk seznamu instrukcí (z ang. Instruction List)
I/O	vstupně/výstupní (z ang. Input/Output)
IP	základní protokol síťové vrstvy (z ang. Internet Protocol)
IPC	průmyslový počítač (z ang. Industrial PC)
ISO/OSI	referenční model pro standardizaci počítačových sítí
JUV	jednotka pro úpravu vzduchu
LD	jazyk příčkového diagramu (z ang. Ladder Diagram)
MAC	identifikátor síťového zařízení pro protokoly spojové vrstvy (z ang. Media Access Control)
MPC	(z ang. Memory-Programmable Control)
OPC UA	průmyslový komunikační standard (z ang. OLE for Process Control United Architecture)
PDF	přenosný formát dokumentů (z ang. Portable Document Format)
PLC	programovatelný logický automat (z ang. Programmable Logic Controller)
POU	programová organizační jednotka (z ang. Program Organisation Unit)
PRG	program (ve vývojovém prostředí CODESYS)
PROFIBUS	typ průmyslové sběrnice (z ang. Process Field Bus)
PROFIBUS-DP	varianta sběrnice PROFIBUS (DP z ang. Decentralized Periphery)
PROFINET	průmyslová komunikační sběrnice (z ang. Process Field Net)
PTP	pohyby z jednoho bodu do druhého (z ang. Point To Point)
PWM	pulzně šířková modulace (z ang. Pulse-Width Modulation)
PZT	titaničitán zirkoničitý, piezomateriál (z označení jeho prvků Pb, Zr, Ti)
ROS	sada softwarových knihoven a nástrojů pro aplikaci v robotice (s ang. Robot Operating System)
SCADA	supervizní řízení a sběr dat (z ang. Supervisory Control And Data Acquisition)
SFC	jazyk sekvenčního programování (z ang. Sequential Function Chart)
ST	jazyk strukturovaného textu (z ang. Structured Text)
TCP	základní protokol transportní vrstvy (z ang. Transmission Control Protocol)
TOF	zpoždovač sestupné hrany (z ang. ON Delay Timer)
TON	zpoždovač náběžné hrany (z ang. OFF Delay Timer)
TP	pulzní časovač (z ang. Pulse Timer)
USB	univerzální sériová sběrnice (z ang. Universal Serial Bus)

1. ÚVOD

Pneumatika, která byla z historického hlediska velmi důležitou v procesu automatizace (a to zejména také k řízení daných procesů), byla s rozvojem elektronického řízení zredukována především na oblast aktoriky, tj. použití aktuátorů, jako jsou pneumatické motory. Oblast řízení a sensoriky byla téměř zcela nahrazena elektronickými řešeními kromě výjimek, kde je pneumatické řízení z určitých důvodů výhodnější nebo bezpečnější pro své charakteristické vlastnosti jako je nevýbušnost, vysoká spolehlivost a jednoduchá údržba (např. doly, lakovny, plynovody zemního plynu). Kvůli obrovskému rozmachu elektrotechniky se moderní pneumatika začala propojovat s elektronikou, která zajišťuje jako ovládací prostředek možnost optimalizace procesů, specifické řídicí logiky a hlavně komunikací, které mohou zajišťovat také sběr dat. Nyní lze již díky této fúzi mluvit o vzniku digitální pneumatiky, tj. pneumatiky ovládané a vylepšené pomocí výpočetní techniky, softwarových řešení a zcela integrované do konceptu moderní výroby, jako je Průmysl 4.0. Díky elektronickému/digitálnímu ovládní mohou být prvky digitální pneumatiky zapojeny do SCADA systémů a vzdáleně ovládný. Dá se říci, že moderní ventilové terminály, které jsou ovládný PLC moduly či mají integrovaný ovládací systém, náleží do digitální pneumatiky. Tyto terminály jsou vybaveny flexibilním vzdáleným ovládním, integrovanými senzory a sběrem dat. Doposud jim však chyběly některé vlastnosti k tomu, aby mohly být označeny jako kyber-fyzikální systémy. Festo Motion Terminal (FMT) tento koncept naplňuje jednak svými univerzálními ventily, které mění svou funkci podle datového vstupu, a též tím, že jeho aplikace využívají za provozu informace z množství vnitřních senzorů k optimalizaci chodu zařízení. FMT je tedy ideálním příkladem digitální pneumatiky vhodné pro chytré továrny. [1][2][3]

1.1. CÍL PRÁCE

Širším cílem práce je vytvořit komplexní dokument, který popisuje vlastnosti, funkce a využití ventilového terminálu FMT pro digitální pneumatiku. Materiál je zpracován tak, aby čtenář mohl pochopit základy použití FTM, a to i včetně přípravy projektu v prostředí CODESYS a jeho instalace. V ideálním případě by tento dokument měl být srozumitelný a naučný i pro laika. Má sloužit hlavně pro studenty, kteří budou FMT využívat při laboratorních cvičeních a v projektech. V neposlední řadě to má být základní kámen, který má usnadnit a zrychlit práci těch, kteří se rozhodnou na tuto diplomovou práci navázat.

1.2. ČLENĚNÍ PRÁCE

Tuto práci lze koncepčně rozdělit na teoretickou (kapitoly 2.-5.) a praktickou část (kapitoly 7. a 8.). Teoretická část má sloužit čtenáři jako referenční, případně vzdělávací část, ve které jsou ve smysluplném pořadí představeny jednotlivé okruhy znalostí, které se k terminálu a práci s ním vážou. V praktické části jsou pak popsány potřebné instalace, instrumentace a jsou tam zpracované jednotlivé výukové úlohy, včetně řešení a navrhované kontroly získaných znalostí. V prostředním oddílu (kapitola 6.) je krátce shrnuto, jak jsou principy výuky technických předmětů aplikovány při přípravě úloh.

2. OD PNEUMATIKY K DIGITÁLNÍ PNEUMATICE

Pneumatika je technický obor, který se zabývá využitím tlakové energie vzduchu. Koncepce použití vzduchu jako média pro přenos energie je stará již přes 2000 let. Průmyslové využití pneumatiky je však možné datovat až k roku 1888. S vývojem elektřiny jako energie začala debata o tom, která z energií převládne. Kolem roku 1900 se z pneumatických prvků používaly nejvíce pneumatická kladiva. Z historického hlediska měla pneumatika velký přínos na poli průmyslové automatizace, kde se pneumatické prvky začaly používat kolem roku 1950. V 60. letech 20. století byly vytvořeny prvky pneumatického logického řízení. Nyní je však z velké části, a to především na poli řízení, nahrazena elektrickými či digitálními komponenty. Pneumatika jako taková se nyní uplatňuje hlavně jako aktorika, kde jsou nejčastěji používané pístové přímočaré pneumatické válce a ventilové rozvaděče. Moderní řízení procesu, který obsahuje pneumatické komponenty, je obvykle prováděno digitálně skrz PLC za použití magnetických senzorů koncových pozic a elektricky ovládaných ventilů. Vývoj techniky směřuje k optimalizaci řešení jak na základě ceny, tak požadavků. Nyní tedy přináší komplexní systémy, které kombinují pneumatiku, elektroniku a digitální počítače. [4][5][6]

Stlačený vzduch je relativně drahou formou energie, jelikož je vyráběn elektricky poháněnými kompresory, kde je značná část energie ztracena ve formě tepla, a to až 60-80 %. Stlačený vzduch je tedy dražší než elektřina, ale přesto jsou pneumatické aktuátory stále středem automatizace výrobních procesů. Tato cena je totiž vyvážena tím, že pneumatické komponenty jsou levné, existuje jich velký sortiment a v některých moderních aplikacích lze teplo z kompresorů rekuperovat, čímž lze snížit cenu stlačeného vzduchu. Dalšími výhodami pneumatických aktuátorů je snadná regulace vyvinuté síly pomocí regulace použitého tlaku, vzduch jako médium také nevytváří jiskry a je proto možné ho použít v aplikacích ve výbušném prostředí. [5]

Obor pneumatiky lze dělit několika způsoby. Prvním způsobem dělení je dělení dle tlaku použitého stlačeného vzduchu. Takto můžeme pneumatiku rozdělit na nízkotlakou (do 150 kPa), normální (150-1600 kPa) a vysokotlakou (nad 1600 kPa). Nízkotlaká pneumatika zahrnuje pneumatickou logiku, tedy systémy pro účely řízení. Normální pneumatika obsahuje pracovní i ovládací prvky a vysokotlaká pneumatika je použita při některých aplikacích pneumotorů. [7]

Lze ji ale rozdělit koncepčně i dle ovládacích elementů. Toto rozdělení také kopíruje historický vývoj pneumatiky. Dělit ji můžeme na pneumatiku, elektropneumatiku a digitální pneumatiku. Návaznost přechodů od pneumatiky k elektropneumatice a nyní k digitální pneumatice je vysvětlena v následujících podkapitolách.

2.1. PNEUMATIKA

Pneumatické řídicí systémy mohou být stále výhodně využity při aplikacích, kdy stroj pracuje ve výbušném prostředí. Výhodou pneumatických komponentů je nevýbušnost, spolehlivost, nízká cena (běžných komponentů) a jednoduchý provoz i údržba. Další výhodou je všudypřítomnost vzduchu, jakožto média, a možnost jeho odfuku (pokud do něj nebylo přidáno mazivo) přímo do atmosféry. Dále je možné vzduch akumulovat v tlakové nádobě a není tak nutné, aby výroba stlačeného vzduchu probíhala kontinuálně. Aplikační oblastí pneumatiky je zejména automatizace výrobních procesů (manipulace s obrobky, materiálem, balicí stroje a linky, jednoúčelové stroje).[4][5][8]

2.1.1. PRVKY PRO VÝROBU A ÚPRAVU VZDUCHU

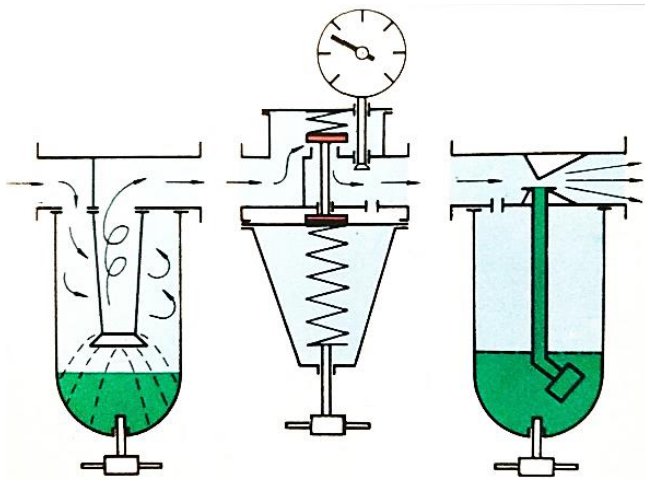
Pneumatické prvky vyžadují pro svou funkci čistý stlačený vzduch určitého tlaku. Je třeba mít na paměti, že vzduch a jeho vlastnosti (tedy i výsledný tlak) jsou vázány na jeho teplotu. V obvyklých pneumatických komponentech jsou tyto změny zanedbatelné, ale u mikro-komponentů nelze tuto závislost zanedbat. [5][6]

Tlak potřebný pro správnou funkci pneumatických zařízení nazýváme pracovní tlak. Stlačený vzduch je vyráběn v kompresorech, které se dělí dle principu funkce na objemové a rychlostní. Objemové kompresory, které fungují na principu nasátí vzduchu do prostoru, jeho uzavření a následném zmenšení, lze pak dle vykonávaného pohybu rozdělit na přímočaré a rotační. Turbokompresory pracují tak, že je zvýšena rychlost vzduchu a tato kinetická energie je pak přeměněna na energii tlakovou v difuzoru. Na výstupu z kompresoru má vzduch provozní tlak. Často se lze setkat s centrální výrobou stlačeného vzduchu, který je poté přiváděn do vzdušníku, kde je akumulován. Při stlačování vzduchu je vyvinuto teplo, které je odebíráno výměníkem a chladičem vzduchu. Po primární úpravě, která nastává těsně po nebo při výrobě stlačeného vzduchu, je vzduch rozváděn rozvodnou sítí potrubí a hadic. [6][8]

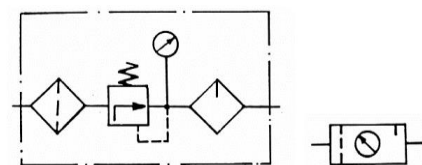
Primární úprava vzduchu je prováděna v odlučovači za chladičem a ve vzdušníku, kde je prováděno odstraňování kondenzátu. Před rozvodem vzduchu je nutné provést odstranění vlhkosti, které může probíhat absorpcí (chemické vázání vlhkosti na sušící prostředek), adsorbí (zachytávání vlhkosti na povrchu pevných těles) nebo ochlazováním pod teplotu rosného bodu (kondenzace vodních par). Takto ošetřený vzduch je poté ze vzdušníku rozváděn rozvodnou sítí, lokálně odebírán a přiváděn k prvkům přes prvek s kombinovanou funkcí filtrace (čistič vzduchu) a regulace tlaku (redukční ventil). [6][8]

Úpravu, která probíhá před použitím v koncových pneumatických prvcích, nazýváme sekundární úpravou vzduchu. Pokud prvek sekundární úpravy vzduchu obsahuje čistič vzduchu, redukční ventil a také maznici (označovanou též jako rozprašovač oleje nebo mlhovač), která do vzduchu přidává malou dávku olejové mlhy, pak ho souhrnně nazýváme jednotkou pro úpravu vzduchu (JUV) (Obr. 1 a Obr. 2). Čistič vzduchu má za úkol odstraňovat pevné částice, kondenzát a snižovat obsah oleje, který se do vzduchu dostává v procesu stlačování. Redukční ventil upravuje provozní tlak v rozvodu na tlak

potřebný pro použité komponenty na pracovišti. Maznice poté do vzduchu dodává malé množství oleje ve formě olejové mlhy pro lepší funkci velkých nebo rychle se pohybujících pneumatických aktuátorů. [6][8]



Obr. 1 Jednotka pro úpravu vzduchu (čistič vzduchu, redukční ventil, maznice) [4]

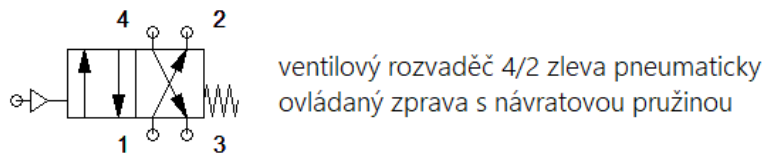


Obr. 2 Schematické znázornění jednotky na úpravu vzduchu (dvě verze) [4]

2.1.2. ROZVADĚČE A VENTILY

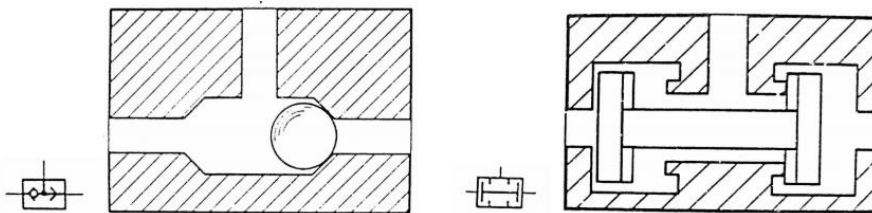
Rozvaděče a ventily jsou základní skupinou prvků pneumatiky, které realizují pneumatické řízení a také vstup signálů. Ovládají směr činnosti, tlak a průtok stlačeného vzduchu. [8]

Rozvaděče můžeme dělit na ventilové a šoupátkové (s válcovým šoupátkem, s plochým přímočarým šoupátkem a s plochým rotačním šoupátkem). Ventilové rozvaděče můžeme dále dle tělísek, která otevírají a zavírají průtočné kanálky dělit na kuličkové, talířkové, deskové nebo kuželkové. Nehledě na konstrukční provedení se rozvaděče schematicky znázorňují podle jejich funkce (příklad schematického zobrazení rozvaděče na Obr. 3). Každý funkční stav rozvaděče je znázorněn čtvercovým políčkem, v němž čáry udávají cesty a šipky směr průtoku. Pokud je cesta uvnitř rozvaděče v daném stavu uzavřena, je to označeno příčnou čárkou. Pokud se cesty uvnitř stavu spojují, je to označeno tečkou. Označení rozvaděče je dáno počtem vstupů (portů) a počtem funkčních stavů. Ovládání rozvaděče je schematicky zaneseno z boku (zleva, zprava) čtverců, které značí stavy rozvaděče. Ovládání přestavuje rozvaděč z jedné polohy do druhé. [4]



Obr. 3 Příklad schematického značení rozvaděče (schematická značka ze softwarového prostředí FluidSIM®)

Ventily jsou prvky pro řízení tlaku nebo průtoku stlačeného vzduchu. Velmi důležité jsou jednosměrné ventily, které slouží k hrazení průtoku jedním směrem. Jedná se o zpětné ventily, které jsou průchozí pouze v jednom směru a ventilová hradla, která slouží pro realizaci logických funkcí. Dále existují redukční ventily, které udržují stálou hodnotu výstupního tlaku, omezovací ventily, které nedovolí překročení maximální hodnoty tlaku v pneumatickém obvodu, ventily řízené tlakem, které uvolní průchod napájení na pracovní výstup až při dosažení určitého tlaku a zpoždovací ventily, které fungují jako časový spínač. [4][8]



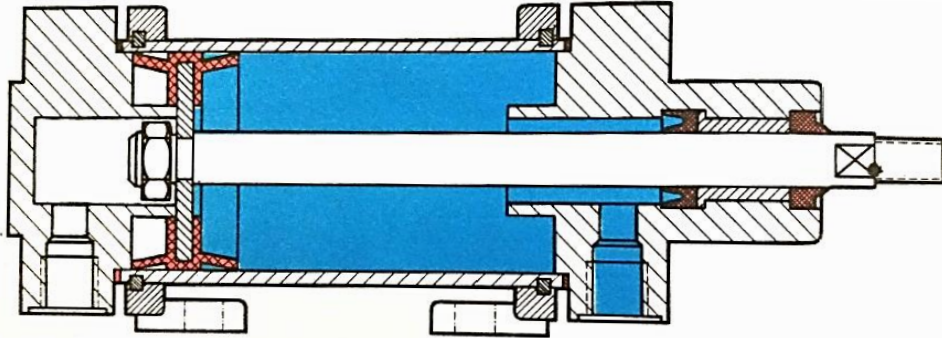
Obr. 4 Schematické značky a realizace ventilových hradel, vlevo logická funkce OR, vpravo AND [4]

Speciálním případem jsou pilotní ventily, které jsou používány pro otevírání a zavírání přívodu vzduchu do větších ventilů. Fungují jako zesilovače signálu. [5]

2.1.3. POHONY – PNEUMATICKÉ MOTORY

Pneumatické motory jsou prvky, které umožňují přeměnu energie stlačeného vzduchu na mechanickou energii pohybu. Jedná se tedy o pracovní prvky. Základní dělení pneumotorů můžeme provést podle druhu výstupního pohybu a podle konstrukce prvku, který vykonává převod energie. Dle výstupního pohybu dělíme pneumotory na přímočaré, kyvné a rotační. Podle převáděcího prvku lze pneumotory dělit na pístové, membránové a s vlnovcem. [8]

Přímočaré pneumatiky jsou nejčastěji realizovány jako pístové. Tyto se dále dělí na jednočinné a dvojitinné. U jednočinných pneumatických motorů působí vzduch jako pracovní médium pouze při pohybu na jednu stranu. Zpětný pohyb pístu je realizován jiným způsobem, často pružinou. U dvojitinných pneumatických motorů je práce stlačeným vzduchem realizovaná v obou směrech. V tomto případě je třeba připomenout, že plocha, na kterou stlačený vzduch působí, je rozdílná v obou směrech. Liší se o průřez pístnice, pokud je pístnice umístěna pouze z jedné strany. [8]



Obr. 5 Konstrukce dvojitinného přímočarého motoru bez tlumení [4]

Dalšími přímočarými pneumatickými motory s pístem jsou motory s oboustrannou pístnicí, tandemové přímočaré motory, vícepolohové přímočaré motory a úderné válce. Přímočarého pohybu lze docílit také použitím membrány na místo pístu. Na membránu membránového motoru může být potom připevněna pístnice. [8]

Kyvného pohybu pneumatických motorů lze docílit převodem přímočarého pohybu pístnice opatřené ozubením, která zabírá s pastorkem výstupního hřídele. Druhým typem kyvného motoru je motor s otočnou lopatkou. Pohybu je docíleno přiváděním stlačeného vzduchu buď před, nebo za lopatku tohoto motoru. U kyvných motorů je umožněno natočení pouze v určitém úhlu obvykle menším než 300°. [8]

Rotační motor nemá omezení v úhlu natočení výstupního hřídele. Tyto motory dělíme na pístové, lamelové, zubové a turbinové. [4]

2.1.4. ROZVODY VZDUCHU A DALŠÍ PRVKY

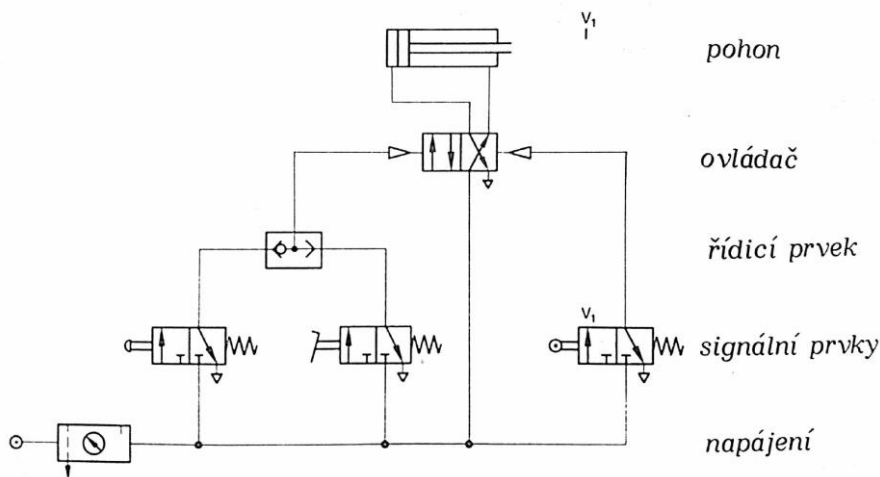
K rozvodu vzduchu se dnes používají obvykle plastové vzduchové hadice vyrobené z nylonu nebo polyuretanu. Pro některé aplikace v náročných prostředích (chemické provozy) jsou používány měděné trubky. Ve vedení vzduchu dochází k tlakovým ztrátám, ale pokud se nejedná o dlouhé vedení (cca 10% pokles tlaku při délce 30 m), tak se ztráty u klasických aplikací zanedbávají. [5]

Propojení jednotlivých komponent výkonové části vzduchovým vedením je obvykle realizováno zásuvnými fitinkami se svěrným spojem. [5]

Dalšími prvky jsou bezdotykové pneumatické signální prvky polohy. Mezi ně patří pneumatická "jazýčková" relé, vzduchová hradla, proudové záchytné trysky a reflexní trysky. Dále jsou v pneumatických obvodech využívány zesilovače tlaku, manometry a převodníky pneumatického signálu. [4]

2.1.5. PNEUMATICKÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY

Grafické vyjádření pneumatického obvodu má odpovídat uspořádání ovládacího řetězce. To znamená, že prvky budou seskupeny tak, aby signál tekł schématem odspodu nahoru (Obr. 6). Na úrovni napájení je zdroj stlačeného vzduchu a jednotka úpravy vzduchu. Signálními prvky jsou rozvaděče, které jsou ovládány silou svalů (pedálem, pákou, tlačítkem), mechanicky (narážkou/dotykem, pružinou, kladkou, sklopnou kladkou), tlakem (zvýšením, poklesem, rozdílem) nebo kombinovaně. Řídicími prvky jsou ventilová hradla, která jsou pneumatickou realizací logických funkcí AND a OR a také jednosměrné ventily. Ovladačem je ventilový rozvaděč, jehož přestavením je ovládán pohyb pohonu. Pohonem může být přímočarý, kyvný či rotační pneumatický motor. [7][8]



Obr. 6 Schéma pneumatického řízení s rozdělením úrovní [7]

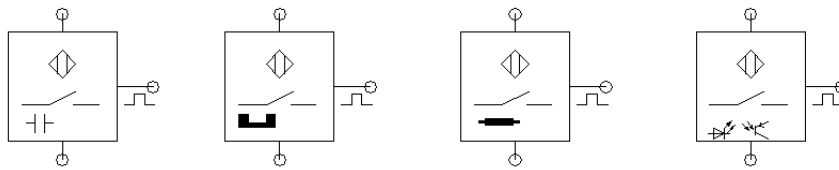
2.2. ELEKTROPNEUMATIKA

Elektropneumatika navazuje na klasickou pneumatiku, přebírá její instrumentaci a přidává další komponenty. K řízení procesů se ale namísto pneumatického řízení používá řízení elektrické, které je realizované elektrickým obvodem. Výkonová část zůstává pneumatická. Elektropneumatiku můžeme rozdělit, tak jako na výkresech, na elektrickou řídicí a pneumatickou výkonovou část. Ve výkresu jsou vždy pneumatické obvody umístěny nad elektrickými. Elektropneumatika tedy disponuje komponentami, které jsou pouze elektrické a jsou využity k tvorbě řídicího elektrického obvodu a prvky elektropneumatickými, což jsou solenoidové rozvaděče, které transformují elektrický signál na signál pneumatický přestavením ventilu a které propojují elektrické a pneumatické schéma. [9]

2.2.1. ELEKTRICKÉ PRVKY

Jedná se o prvky, které jsou určeny k získávání a přenosu elektrického signálu. Jsou to zaprvé spínací prvky, které mohou být se zapínací, vypínací a přepínací funkcí. Elektrické spínače mohou být ovládány dotykem a to ručně (tlačítka, přepínači) nebo mechanickým dotykem (kladičkami, výkyvnými kladičkami). Dalšími spínacími prvky jsou prvky bezkontaktního spínání a to při bezdotykovém sledování polohy, které je dnes převážně používáno. Bezdotykové snímače polohy mohou být magnetické, indukční, kapacitní nebo optické (Obr. 7). Bezkontaktní spínače jsou výhodnější, jelikož eliminují některé problémy kontaktních spínačů, jako je odskakování kontaktů při sepnutí, citlivost na vibrace

a opotřeбенí kontaktů. Rychlost bezkontaktních spínačů je také asi 30-100 x vyšší než u kontaktních spínačů. Mezi elektrické prvky řadíme i kontrolky a signálky. [9]



Obr. 7 Schematické značky bezdotykových spínačů, zleva kapacitní, magnetický, induktivní a optický. Značky ze softwarového prostředí FluidSIM®

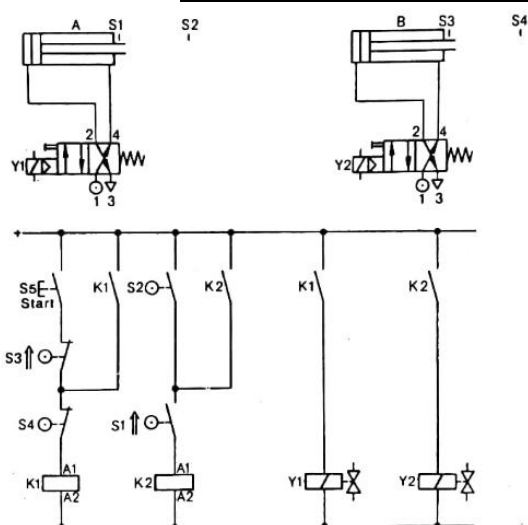
Dalšími důležitými elektrickými prvky jsou relé. Impulzní relé jsou dálkově ovládané spínače, které spínají na základě přivedeného ovládacího proudového impulsu. Relé dělíme podle funkce na obyčejná, časová (se zpožděním při zapínání TON a se zpožděním při vypínání TOF), remanentní (zapnutá impulzem a vypnutá až po přivedení záporného proudového impulsu) a reléové čítače. [9]

2.2.2. ELEKTROPNEUMATICKÉ PRVKY

Asi nejdůležitějšími elektropneumatickými prvky jsou ventilové rozvaděče, které jsou přestavovány na základě elektrického ovládnání. Tento typ ovládnání je pak používán i u systémů, kde je přestavování ventilů řízeno počítači, PLC nebo IPC. Převod elektrického signálu na mechanický signál je obvykle proveden pomocí solenoidů. Jedná se o cívku, která za přítomnosti elektrického proudu, signálu, generuje magnetické pole. Toto magnetické pole působí na její magnetické jádro. To pak realizuje mechanický pohyb a tím přestavuje ventil. Tento princip je využitý jak ve ventilových rozvaděčích, tak v elektricky ovládaných proporčních ventilech. [5][9]

Dalším elektropneumatickým prvem je pneumo-elektrický měnič PE, ve kterém je pneumatickým signálem stlačován pístek, který působí na mikrospínač. Tím je zajištěn převod pneumatického signálu na elektrický. Tento princip je využit také u elektropneumatického tlakového spínače, kdy je potřebný tlak pro sepnutí nastaven vratnou pružinou. [9]

2.2.3. ELEKTRICKÉ ŘÍZENÍ PNEUMATICKÝCH PRVKŮ

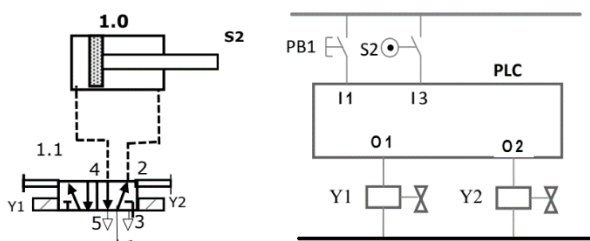


Obr. 8 Příklad elektrického řízení dvou pneumatických motorů [9]

V elektropneumatických schématech je obvykle pneumatická část umístěna nad elektrickou. V elektrické části jsou spínače značeny S, relé K. Solenoid rozvaděče, propojovací prvek pneumatického a elektrického obvodu, je obvykle značen písmenem Y. Zavedenou konvencí je umístění spínačů a snímačů v horní části elektrického schématu a umístění relé a solenoidů v dolní části. Jedná se o obdobu úrovní v pneumatickém schématu, ale u elektrického schématu proudí signál, elektrický proud, dle konvence od plusu (nahore) k minusu (dole). [9]

2.3. DIGITÁLNÍ PNEUMATIKA

V předchozích částech nebyly zmíněny zdaleka všechny pneumatické, elektrické a kombinované komponenty. Je ale zjevné, že pro komplexní úlohy je vyžadován řídicí obvod značného rozsahu a tyto úlohy mohou být realizovány pouze za použití velkého množství komponentů. Digitalizace pneumatiky, tedy využití řídicích jednotek jako jsou PLC, IPC a další, zjednodušuje komplexnost co do počtu komponentů a vedení. Komplexnost je převedena do programu, který řízení vykonává. Toto zjednodušení je zřetelné na Obr. 9, kde je vyobrazeno schéma ovládání pneumatického motoru pomocí PLC. Zde je zřetelné velmi jednoduché elektrické zapojení PLC, solenoidů a spínačů. Vztahy mezi vstupy a výstupy PLC jsou definovány vnitřní logikou PLC. Pojem "digitální pneumatika" se ve velkém objevil až po roce 2016 v rámci integrace pneumatiky do konceptu Průmysl 4.0. Může ale označovat i předchozí koncept ovládání pneumatiky pomocí PLC, které má základ v reléové logice elektropneumatiky. Zrod digitální pneumatiky lze tedy datovat k 70. letem 20. století, kdy došlo k rozšíření PLC v průmyslu. Tyto dva koncepty můžeme rozlišit jako starší digitálně řízenou pneumatiku a novou digitální pneumatiku. [10]



Obr. 9 Zjednodušení zapojení elektrického řízení pomocí PLC [11]

Digitální pneumatika je v podstatě další generací vývoje pneumatiky, která v sobě kombinuje výhody pneumatiky a elektroniky v automatizaci. Digitální pneumatika dneška je také reakcí pneumatiky na trend inteligentní automatizace a Průmyslu 4.0. Tento trend preferuje inteligentní, decentralizované a síťově propojené kyber-fyzikální systémy, i když již mechatronické modulární systémy

umožňují integraci různých funkcí a tím i větší flexibilitu. Tato flexibilita je ale omezena komunikačními možnostmi modulů. Kyber-fyzikální systémy jsou mechatronické systémy, které disponují také integrovanými senzory a vnitřní samostatnou inteligencí, která umožňuje využití dat na místě. Výhodou kyber-fyzikálního systému je to, že systém může být upgradován na základě softwaru a ne hardwaru. Je také požadována velká schopnost komunikace, a to v souladu s průmyslovými mezinárodními komunikačními standardy jako OPC UA. Dalšími výhodami digitální pneumatiky jsou zjednodušená instalace, plánování, provoz a údržba pneumatických systémů. Konverze k digitální pneumatice může značně zredukovat počet použitých komponent v jednotlivých aplikacích a zástavbový prostor (až o 65 %). [3][12][13]

Pneumatické komponenty jsou v rámci digitalizace vybavovány integrovanými digitálními senzory, síťovým komunikačním propojením a výpočetní kapacitou. Těmito komponentami mohou být ventily, kompresory i aktuátory. Hlavní komponentou, která představuje digitální pneumatiku, je moderní ventilový terminál. Ventilové terminály jsou funkční celky vytvořené z prvků, které se původně používaly samostatně. Propojením těchto prvků jsou zjednodušeny obvody, instalace a údržba. Podle rozsahu propojení a historického vývoje můžeme ventilové terminály dělit na terminály se společným pneumatickým napájením, společným elektrickým napájením, společným řízením a terminály s komunikačními moduly. Moderní ventilové terminály, do nichž byly

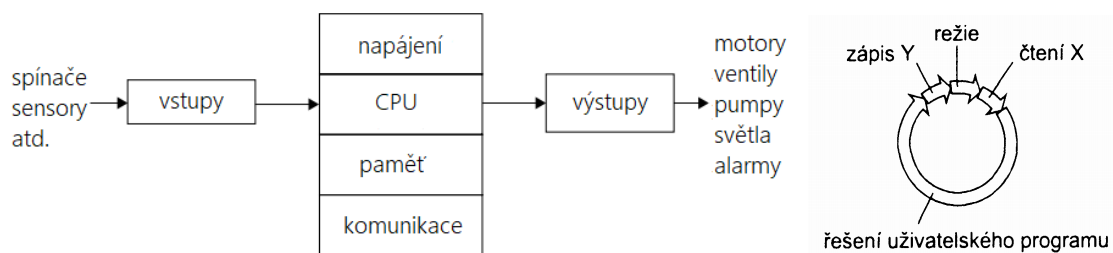
integrovány komunikační moduly, softwarová řešení a další funkce jako řízení průtoku, začaly vznikat před cca 25 lety.

Jedním z nich je i FMT firmy Festo, který splňuje požadavky kladené na kyber-fyzikální systémy. FESTO ale není jedinou společností, která působí ve vývoji prostředků pro digitální pneumatiku. Komponenty pro digitální pneumatiku vyrábí také společnosti Aventics, Parker, Emerson, Shelley Automation a další. [3]

2.3.1. PLC

PLC (Programmable Logic Controller), tedy programovatelný logický automat, je řídicí systém pro průmyslovou praxi, který je uživatelsky programovatelný. Jednodušší (a starší PLC) jsou používána především pro řešení logických úloh. Současná PLC ale umožňují řešit i úlohy regulace, monitorování a měření. Každý programovatelný automat má následující části: centrální procesorovou jednotku (CPU), paměti (systémové a uživatelské), vstupní a výstupní jednotku, komunikační jednotky pro komunikaci se souřadnými a nadřazenými řídicími systémy a napájení (Obr. 10). Algoritmus v PLC je vykonáván cyklicky, proto je zápornou stránkou použití PLC nespojitost řízení v čase. Tento zápor je ale vyvážen velmi krátkými cykly a tím, že v dnešní době je nespojitost spojená s digitálním signálem zcela běžná. Nyní jsou již běžná modulární PLC, takže lze z modulů sestavit řízení a komunikaci přesně pro danou aplikaci. [10][14]

PLC používá 2 typy programového vybavení, a to systémové a uživatelské. Uživatelský program určuje algoritmus řešení dané úlohy, zatímco systémový program řídí činnost PLC. Postup zpracování programu u většiny PLC (Obr. 10) probíhá tak, že jsou nejprve načteny hodnoty ze vstupních jednotek do zápisníkové paměti PLC (tzv. Input Image Table). Dále probíhá vykonávání uživatelského algoritmu tím, že CPU postupně čte a vykonává instrukce, které jsou uloženy v uživatelské paměti programu. Při výkonu instrukcí provádí CPU operace s daty v zásobníkové paměti a zásobníku. Po provedení všech instrukcí algoritmu CPU aktualizuje výstupní proměnné, které jsou uloženy v části paměti Output Image Table, do výstupních jednotek. Tento proces nazýváme cyklem programu a je neustále opakován. Mezi jednotlivými cykly probíhá režie, během níž se CPU připravuje na vykonání dalšího cyklu. [10][14]



Obr. 10 Vlevo: Schematická reprezentace PLC pomocí bloků [10], vpravo: cyklus programu PLC [14]

2.3.2. PROGRAMOVACÍ JAZYKY PODLE STANDARDU IEC 61131-3

Mezinárodní norma IEC 61131-3 Programovatelné řídicí jednotky – Část 3: Programovací jazyky vznikla ze snahy o sjednocení programovacích jazyků PLC, které se do té doby lišily s ohledem na výrobce zařízení. I po zavedení tohoto standardu v roce 1993 nedošlo k úplnému sjednocení programovacích jazyků, ale k jejich přiblížení. Programovací jazyky pro PLC lze rozdělit na grafické a textové. Do grafických jazyků řadíme jazyk příčkového diagramu (LD), jazyk funkčních bloků (FBD) a jazyk sekvenčního programování (SFC).

Textové jazyky jsou jazyk seznamu instrukcí (IL) a jazyk strukturovaného textu (ST). [10][14][15]

Jazyky mohou být využity buď samostatně, tj. celá aplikace může být napsána jedním jazykem, nebo mohou být kombinovány různé jazyky a různé programové organizační jednotky (POU) tak, aby bylo využito výhod jednotlivých jazyků tam, kde je to výhodné. Programové organizační jednotky mohou být funkce, funkční bloky a programy, které mohou být dodány výrobcem nebo vytvořeny uživatelem. [10][15]

Jazyk seznamu instrukcí IL je podobný jazyku Assembler tím, že je to nižší jazyk, který je strojově orientován. Každé instrukci PLC systému odpovídá instrukce IL (jazyka seznamu instrukcí). Výhodou použití tohoto jazyka je malá výpočetní náročnost. Je to také jeden ze starších jazyků normy IEC 61131-3. Nevýhodou tohoto jazyka je jeho náročnost na programátora a to, že není příliš vhodný pro komplexní aplikace. [10][14]

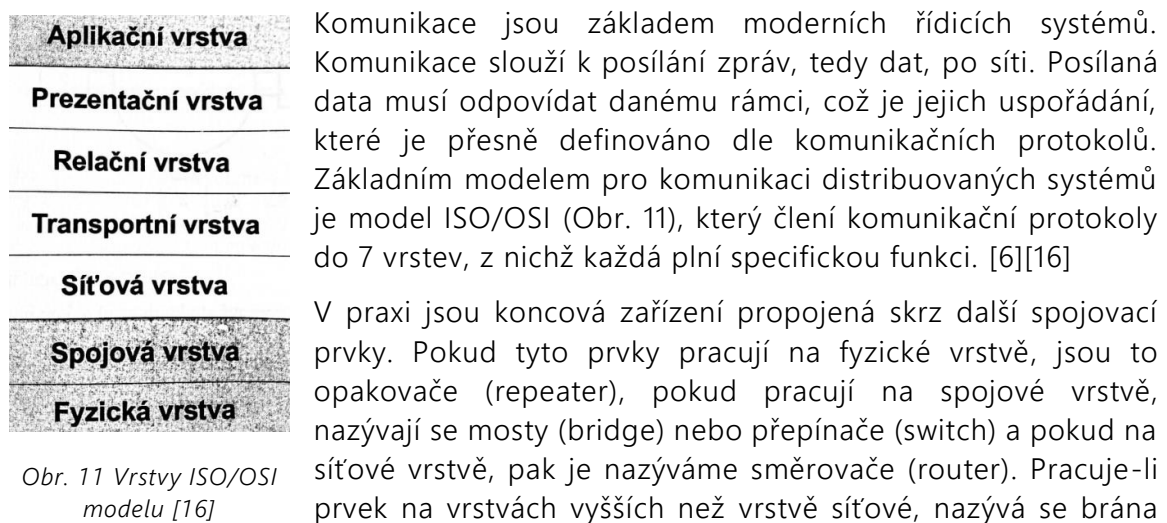
Jazyk strukturovaného textu ST je vyšší textový programovací jazyk, který se dá přirovnat k jazyku C nebo jazyku Pascal. Tento jazyk je vhodný zejména pro aritmetiku, zpracování číselných hodnot a práci s uživatelskými datovými typy, což jsou sekvence atributů, z nichž každý má vlastní elementární datový typ. Jazyk obsahuje známé logické operátory AND, OR, XOR a také příkazy IF, FOR, WHILE a další. [10][15]

Jazyk příčkového diagramu LD je založen na reléové logice. Je to PLC programátory hojně využívaný jazyk, a to i přes to, že jazyky ST a SFC jsou obvykle efektivnější. LD umožňuje provádění logických operací, použití časovače a čítače a jednoduché matematické operace. Někteří výrobci umožňují v LD používání složitějších funkcí, které jsou integrované pomocí jazyků FBD a ST. [10][15]

Jazyk funkčních bloků FBD je velmi intuitivním jazykem, kde programátor spojuje funkční bloky do sítě. Tyto bloky mohou být standardní (AND, OR, NOT, paměti, časovače a čítače) nebo uživatelsky definované. [10]

Jazyk sekvenčního programování SFC popisuje sekvenční chování řídicího programu. Je to programovací jazyk s grafickou reprezentací (obdobně jako GRAFCET), kterou je ale možné převést i do textového souboru výkonných řídicích prvků. SFC se skládá z kroků, bloků akcí a přechodů.[10]

2.3.3. PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY A SBĚRNICE



Obr. 11 Vrstvy ISO/OSI modelu [16]

(gateway). Na rozdíl od nižších spojovacích prvků umožňuje propojení dvou sítí s odlišnými komunikačními protokoly (např. propojení CAN nebo PROFIBUS s IP sítí). [6]

Nejvíce používaným systémem komunikačních protokolů využívaných v průmyslu je Fieldbus, neboli průmyslová sběrnice pro polní instrumentaci. Naproti tomu v kancelářském prostředí převládá Ethernet. Spolu se zájmem o propojení řízení výroby od kanceláře až po výrobní jednotky se zvedl zájem o průmyslová řešení využívající Ethernet. To vedlo k vývoji ethernetových průmyslových sběrnic, jako je EtherCAT, EtherNet/IP a další. Zároveň stoupá zájem o bezdrátovou komunikaci. Některé známé průmyslové sběrnice používané pro automatizaci ve výrobě jsou: CAN, PROFIBUS, MODBUS a INTERBUS. Některé známé komunikační protokoly na poli automatizace jsou: HART, Modbus, Ethernet/IP, DeviceNet, atd. [17]

2.3.4. TCP/IP ARCHITEKTURA – IP ADRESA, KOMUNIKACE V SÍTI

Skupina protokolů TCP/IP pokrývá různé oblasti komunikace, řízení a správy IP sítí. Základním protokolem síťové vrstvy je protokol IP, který zajišťuje jednoznačnou adresaci v síti a poskytuje možnost směrování. Stávající protokol je nazýván IPv4 a jeho adresy jsou 32bitová čísla, ale kvůli vyčerpání IP adres je nově zaveden protokol IPv6, jehož adresy jsou 128bitové. Adresa IPv4 je uváděná v symbolickém tvaru, kde je každý bajt reprezentován číslem desítkové soustavy. Tato čísla jsou oddělena tečkami. Každému uzlu sítě je přidělena síťová adresa. Síťová adresa má dvě části – část sítě a část uzlu. Uzly, které jsou ve společné síti, mají stejnou síťovou část adresy. Uzlová část adresy musí být v dané síti jedinečná. Existovaly různé způsoby rozdělení počtu bitů mezi část IP adresy pro identifikaci sítě a identifikace uzlu, ty byly ale nahrazeny tzv. maskou sítě. Masku sítě je číslo stejného rozsahu jako IP adresa, které obsahuje jedničky na pozicích odpovídajících síťové části adresy a nuly na pozicích odpovídajících uzlové části. Např. pokud je dána IP adresa 192.168.4.2 a maska 255.255.0.0, pak část "192.168" adresy je síťovou částí. [6]

Komunikace na úrovni IP adresy mezi dvěma uzly pak probíhá tak, že odesílatel, který odesílá na známou adresu, nejprve zjistí, zda je příjemce ve stejné síti. To je ověřeno pomocí bitového logického součinu masky s oběma adresami (odesílatele a příjemce). Pokud se uzly nachází ve stejné síti, pak je možné data zaslat přímo na linkovou (MAC) adresu příjemce bez použití směrovače. [6]

2.3.5. VENTILOVÉ TERMINÁLY

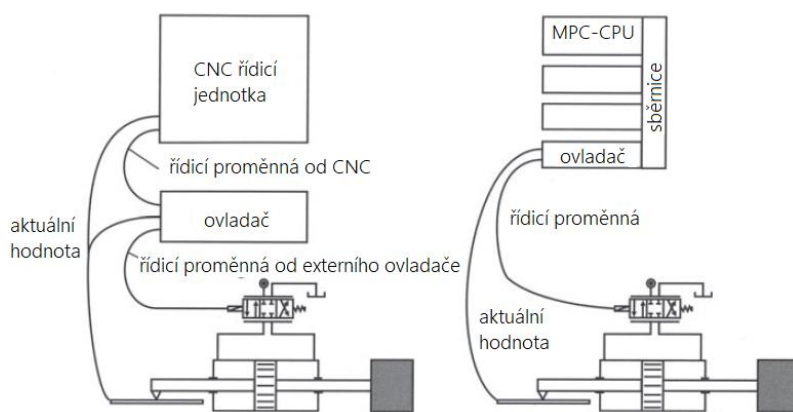
Elektromagneticky ovládané ventily jsou ve ventilových terminálech instalovány na společné spojovací desce, sdílí zdroje energií a ovladač. Ventilový terminál integruje pneumatickou a elektrickou (i elektronickou) část systému. K tomuto stupni propojení došlo postupným historickým vývojem, kde bylo nejprve sdíleno pneumatické rozhraní, poté dále elektrické napájení, dále i řízení a nyní již existují terminály s různými komunikačními moduly. [18]

Elektrické a pneumatické subsystémy mohou existovat i odděleně, ale v takovém případě jsou obvykle i velmi jednoduché systémy náročné na čas co do návrhu a sestavení. Sjednocením těchto systémů také klesá počet uživatelských rozhraní. Jelikož velikost a technická komplexnost budovaných systémů se stále rozrůstá, je sjednocení systémů a tím zmenšení této komplexnosti pozitivním řešením. Integrované řešení odstraňuje také problémy, jako jsou: nestejně množství informací od různých výrobců komponentů a tím

způsobené problémy při kalkulacích, logistika objednávek, doručení a sestavení mnoha částí od různých výrobců, rozdílná parametrizace nebo konfigurace různých modulů, vyšší míra chybovosti atd. Moderní ventilové terminály redukují instalační čas až o 60% a garantují menší chybovost při chodu, údržbě, opravách i uvedení do provozu. U moderních terminálů je také aplikován koncept modularity. Z modulů lze potom sestavit přesné řešení pro danou aplikaci. [18]

2.3.6. DIGITÁLNÍ ŘÍZENÍ

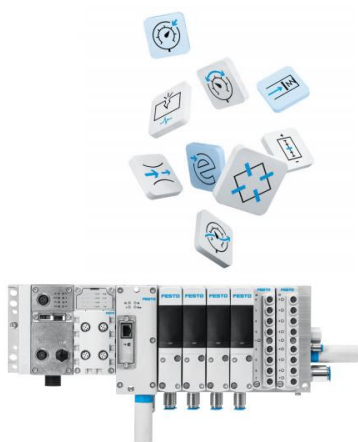
Některé aplikace pneumatiky potřebují komplexní řízení, které není možné nebo ekonomické zajistit pouze elektrickými obvody. Řídicí algoritmus je proto vykonáván mikropočítačem, který umožňuje flexibilní adaptaci dle aktuálních podmínek. Řízení může být vykonáváno pomocí PLC, vestavěných systémů nebo IPC. Toto řízení je dnes u většiny aplikací, které využívají pneumatické motory. Takto vykonávané řízení nazýváme digitální řízení. Digitální řízení pneumatických aktuátorů přispělo ke zlepšení řízení jejich rychlosti a přesnosti dosažení poloh v zadaném čase. V dnešní době jsou pneumatické aktuátory často použity i jako subsystém. Jsou zapojeny do systémů automatizovaných výrobních procesů, které jsou celkově řízeny CNC nebo MPC řízením. Aby mohly být pneumatické aktuátory úspěšně připojeny k CNC řídicímu systému, je k nim připojena externí řídicí jednotka, jejímiž vstupy jsou příkazy vysílané hlavní řídicí jednotkou a data ze senzorů



(obvykle senzorů polohy aktuátorů). U MPC řízení je využito modulárního designu MPC řídicí jednotky, kam je možné přidat modul ovladače uzpůsobený pro řízení pneumatiky. CPU do tohoto ovladače posílá řídicí proměnné přes sběrnici. Tyto systémy řízení je vidět na Obr. 12. [5][19]

Obr. 12 Připojení motoru k CNC a MPC řízení [19]

3. FESTO MOTION TERMINAL



Obr. 13 FMT s Motion Apps [12]

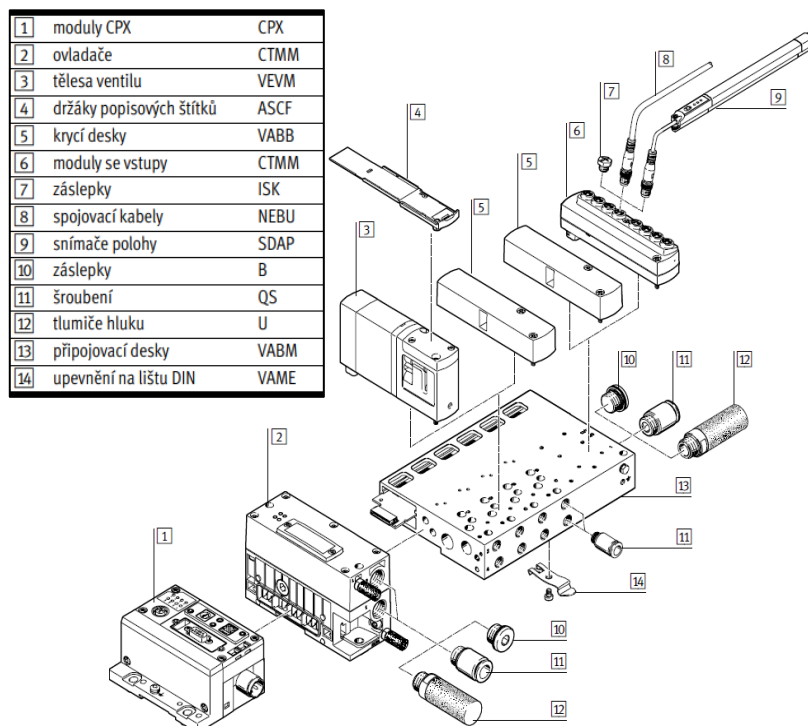
Festo uvedlo v roce 2017 na veletrhu průmyslové automatizace a technologie v Hannoveru na trh Festo Motion Terminal (Obr. 13), který je katalogově označen Motion Terminal VTEM. Jedná se o programovatelný ventilový terminál, který je softwarově ovládaný aplikacemi tzv. "Motion Apps". Softwarové ovládání je umožněno novými univerzálními ventily VEVM, které mění své vnitřní uspořádání na základě pokynů aplikací Motion Apps. FMT má vlastnosti kyber-fyzikálního systému a představuje tak pojetí digitální pneumatiky dle konceptu Průmysl 4.0. Tyto vlastnosti jsou realizovány hlavně univerzálními ventily VEVM, ve kterých jsou integrované senzory. Přímo v FMT probíhá sběr, zpracování a vyhodnocení dat. Díky softwarově ovládaným ventilům může zastávat funkci až 50 komponent.

Díky jednotné stavbě ventilu odpadá potřeba výměny komponent při změně aplikační oblasti či provozu. Stačí také skladovat menší množství náhradních dílů. Funkce terminálu je měněna pomocí aplikací a ty také provádí monitorování a nastavování parametrů. Terminál dokáže např. díky aplikacím Motion Apps synchronizovat pohyb pneumatických aktuátorů a kontinuálně jejich chod korigovat, může také zajistit tlumení v koncových polohách pneumatických válců. Aplikace mohou např. optimalizovat energetické ztráty, provést diagnostiku úniků v pneumatické síti atd. Terminál je možné provozovat i s vakuem. [13][20][21]

3.1. CHARAKTERISTIKY FMT

3.1.1. STAVBA TERMINÁLU

FMT se provozuje pouze společně s elektrickým terminálem CPX. Konceptně lze stavbu FMT (Obr. 14) rozdělit na 3 části: řídicí, pneumatickou a část vstupních modulů. FMT je modulární systém, který je určený svou konfigurací. Vyšší řízení zajišťuje modulární řídicí blok CPX, který vykonává funkci PLC. CPX blok je propojený a komunikuje s ovladačem CTMM, který je neměnnou součástí FMT. Terminál může obsahovat i další moduly CPX, jako jsou uzly sítě a moduly vstupů a výstupů. Ovladač CTMM je ovladačem pro VTEM a pneumatická rozhraní, přímo v něm je umístěn hlavní přívod stlačeného vzduchu a odvětrání přes tlumič. Další přívod tlaku a odvětrání je na pravé straně připojovací desky VABM. Skrz připojovací desku VABM je ovladač CTMM propojen jak pneumaticky, tak elektricky s jednotlivými tělesy univerzálních ventilů VEV. Zároveň je také elektricky propojen s moduly vstupů od snímačů polohy, které mohou být jak analogové CTMM-A (4pinové) tak digitální CTMM-D (3pinové). Vstupy modulů CTMM-A a CTMM-D jsou přístupné výhradně pomocí aplikací Motion Apps. Na připojovací desce je určitý počet pozic podle zvolené konfigurace terminálu. Pozice, které nejsou obsazeny, jsou opatřeny krycími deskami VABB. Nevyužité porty přívodu vzduchu jsou zaslepeny záslenkami. [21]



Obr. 14 Stavba Festo Motion Terminálu [21]

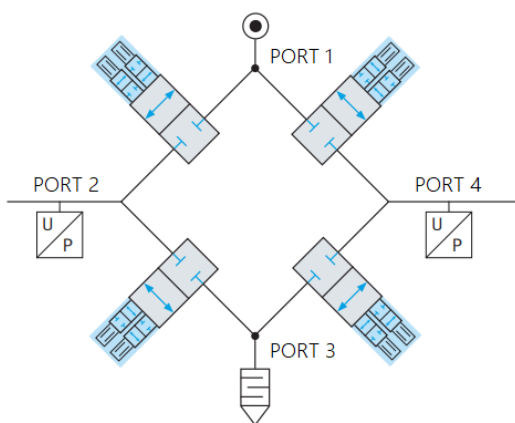
Podle požadovaného počtu pozic pro VEVM ventily jsou dostupné tři varianty, a to se 2, 4 nebo 8 pozicemi pro ventily (Obr. 15). Varianta se 2 ventily je vhodná především pro aplikace, které vyžadují malou prostorovou zástavbu, jako jsou např. robotické paže. K této variantě může být připojen jeden modul pro 8 vstupů. Čtyřpozicová varianta je variantou pro standardní aplikace. Osmipozicová varianta je pak vhodná pro komplexní paralelní nebo sekvenční použití. Uživatel má k dispozici 16 tlakových kanálů s individuální regulací tlaku. U varianty s 4 a 8 pozicemi jsou k dispozici místa pro 2 moduly vstupů. [22][23]



Obr. 15 Varianty FMT dle počtu ventilů (zleva varianty s 2, 4 a 8 VEVM ventily) [22]

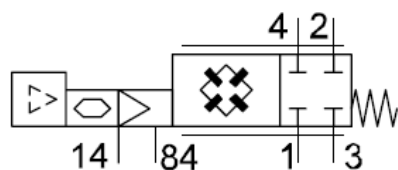
3.1.2. UNIVERZÁLNÍ VENTIL VEVM A JEHO STAVBA

Nejinovativnější komponentou FMT je právě univerzální VEVM ventil. Všechny VEVM ventily mají stejnou konstrukci a rozdílné funkce vykonávají na základě softwarově řízeného přestavení svého vnitřního uspořádání. Konstrukce ventilu sestává ze čtyř 2/2 proporcionálních ventilů zapojených do můstku (Obr. 16). To umožňuje oddělenou regulaci tlaku a průtoku na portech 2 a 4. Každý ze čtyř 2/2 ventilů je nepřímo řízen pomocí dvou piezovenilů, které jsou též proporcionální. Ventil obsahuje integrované senzory, které sledují polohu otevření proporcionálních sedlových ventilů a také tlak v portech 1, 2, 3 a 4. [21][23]



Obr. 16 Můstkové uspořádání uvnitř VEVM ventilu [23]

Port 1 je napájecím portem ventilu. Ventil je odvětráván portem 3. Na portech 2 a 4 je nezávisle regulovaný tlak a průtok. Pilotní ventily jsou napájeny z kanálu 14 a kanál 84 slouží k odvětrání řídicího tlaku. Tyto porty jsou znázorněny na schematické značce VEVM ventilu (Obr. 17). Ze značky lze také vyčíst, že se jedná o ventil monostabilní s návratem do základní polohy. Na levé straně je znázorněno řízení pomocí pilotního ventilu, který je řízen piezoelektricky a toto řízení je realizováno pomocí aplikací Motion Apps. [21][23]

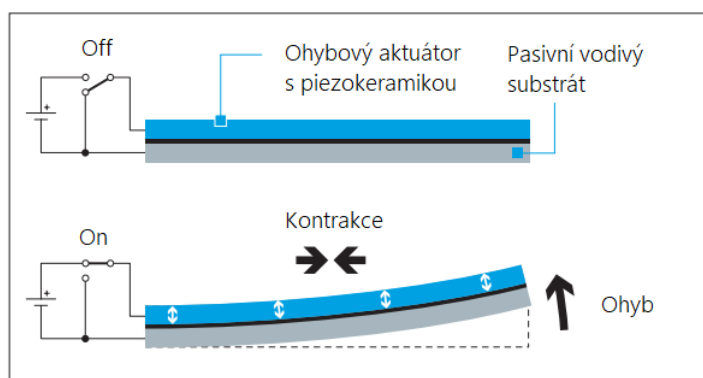


Obr. 17 Schematická značka ventilu VEVM pro všechny aplikace [21]

Relativně malého rozměru ventilu VEVM je docíleno prostorovým uspořádáním komponent uvnitř ventilu tak, jak je vidět na Obr. 18.

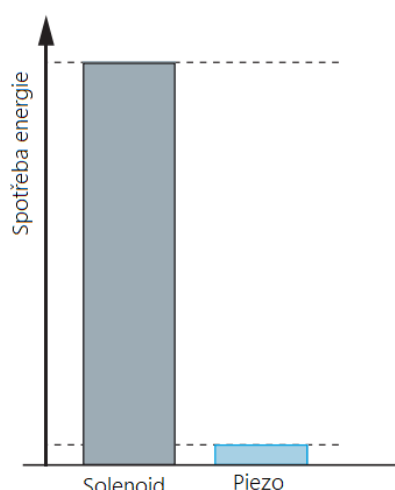


Obr. 18 Prostorové uspořádání komponentů uvnitř VEVM ventilu [23]



Obr. 19 Ohybový piezoaktuátor [23]

Nově vyvinuté pilotní ventily redukují spotřebu vzduchu pilotními ventily až o 90 %. Piezoelektrický aktuátor uvnitř pilotního ventilu pracuje na základě piezoelektrického jevu. Tuto schopnost mají např. některé krystaly, z nichž nejznámějším je monokrystalický křemen. Na povrchu krystalů je při jejich deformaci (natažení či stlačení) možno pomocí elektrod detekovat

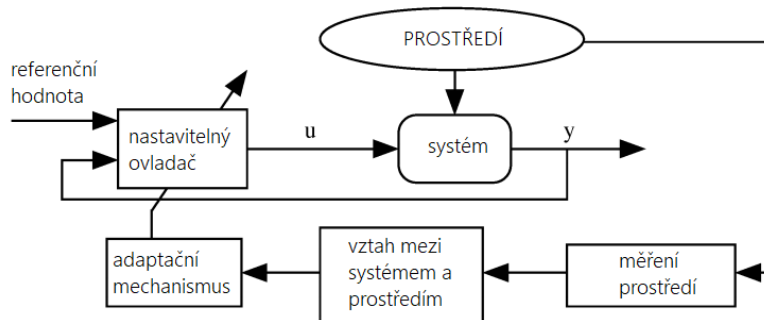


Obr. 20 Porovnání spotřeby energie u solenoidových a piezoventilů [24]

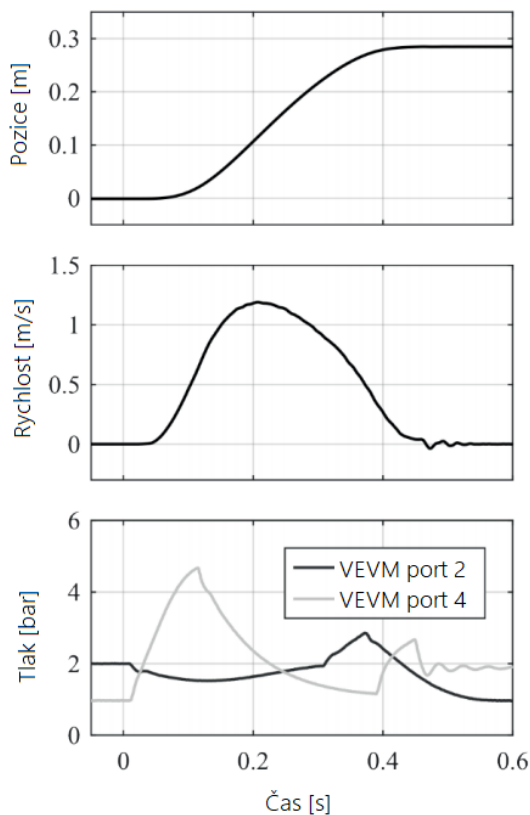
napětí. Tento jev je obousměrný, tedy pokud na čelo krystalu ve tvaru válce přivedeme napětí, dojde ke snížení jeho výšky na základě zpětného piezoelektrického jevu. Piezoelektrické materiály lze rozdělit do kategorií přírodních krystalů, polymerů a polycrystalické keramiky. Pro piezoelektrické aktuátory se většinou používá PZT keramika. Piezokeramika je použita také v pilotních ventilech VEVM ventilu, kde je tenká vrstva (cca 150 μm) polarizovaného keramického materiálu, který je na povrchu vodivý, spojená s tenkou vrstvou pasivního vodivého substrátu. Tím vznikne ohybový piezoaktuátor (Obr. 19). Výhodou piezoventilů oproti solenoidem ovládaným ventilům je především nízká spotřeba energie (Obr. 20), velká rychlost sepnutí, vlastní proporcionalita, nízká váha a dlouhá životnost. [19][23][24]

3.1.3. KOMPLEXNÍ FUNKCE FMT

FMT je programovatelný pneumatický terminál, který má dva hlavní koncepty, a to softwarově řízený pohyb pneumatických aktuátorů pomocí univerzálního ventilu VEVM a velkou energetickou úspornost. Jedná se o transformaci mechanických pneumatických komponent v mechatronické systémy. FMT má za cíl změnit energetickou náročnost pneumatických aktuátorů, která alespoň z části není způsobena samotnou technologií, ale špatným dimenzováním a neefektivními módy provozu. Ve FMT jsou použity módy provozu založené na adaptivním řízení otevřenou smyčkou. Základní princip takového řízení je schematicky zobrazen na Obr. 21. [20]



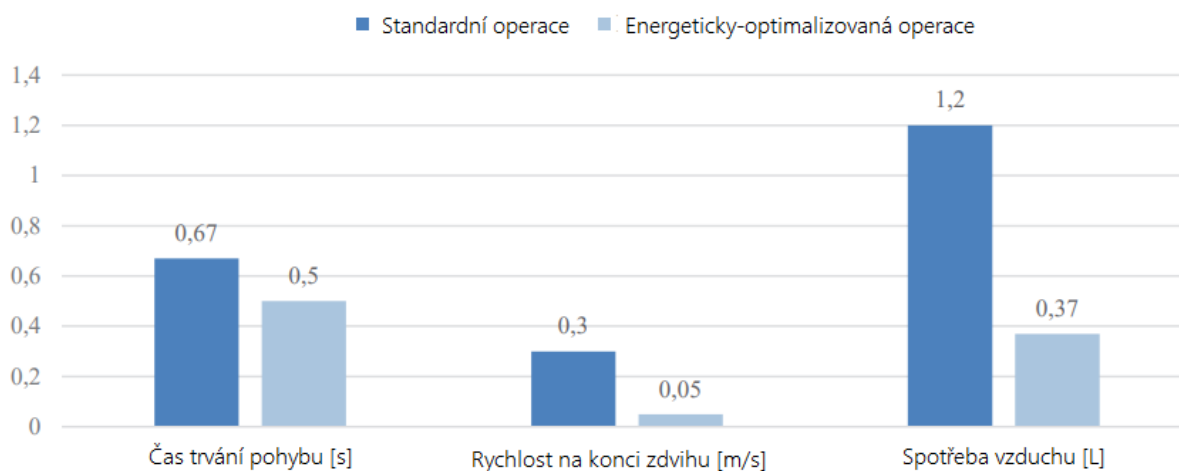
Obr. 21 Základní koncepční schéma adaptivního řízení otevřenou smyčkou [25]



Obr. 22 Optimalizované průběhy pro vyjetí pístu [20]

Toto řízení může ušetřit až 70% energie, ale vyžaduje nezávislý přívod tlaku a odvětrání obou komor pneumatického motoru. Proto vznikl univerzální ventil VEVM, který má můstkové uspořádání a umožňuje nezávislost portů 2 a 4. Pro optimalizaci operací je třeba znát také parametry jako je pozice a rychlost pístu a tlaky v komorách pneumatického motoru. Měření těchto parametrů externě by bylo ekonomicky nevýhodné, proto jsou použity integrované senzory ve VEVM ventilech, které jsou lepší cenově, nižší chybavostí a také tím, že odpadá nutnost vést k nim kabeláž. Senzory měří tlak na portech, pracovní tlak a stupeň otevření ventilů. Ostatní parametry (pozice pístu, tlak v komoře, průtok ventilem) jsou odhadovány pomocí modelu z naměřených parametrů. Energie je ušetřena tím, že poté, co je píst uveden do pohybu, se uzavře přívod tlaku do komory. Při optimalizaci pohybu je pak docíleno tlumení v koncové poloze pouze regulací tlaku na portech pneumatického motoru, tedy tím, že se v pravý čas uzavře odvětrání. Průběh pozice, rychlosti a tlaků na portech VEVM ventilu 2 a 4 je na Obr. 22. [20]

Ve článku [20] bylo rovněž provedeno porovnání při standardním a optimalizovaném řízení vyjetí pístu, jehož výsledky jsou na Obr. 23. Z výsledků vyplývá, že optimalizované řízení realizované pomocí FMT mělo příznivý vliv na všechny porovnávané parametry, tj. čas trvání pohybu, rychlost na konci zdvihu i spotřebu vzduchu. [20]

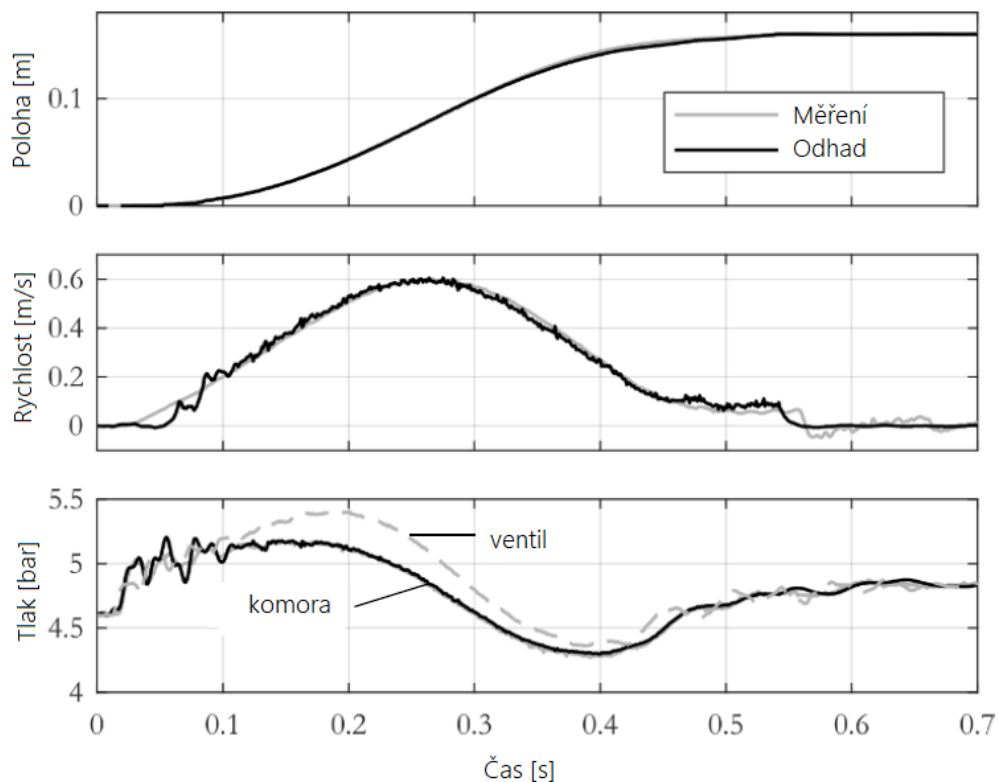


Obr. 23 Porovnání standardní operace vyjetí a optimalizované operace řízené FMT [20]

Dalším komplexním náhledem na funkci FMT je jeho funkce jako součásti kyber-fyzikálního systému v Průmyslu 4.0. Kyber-fyzikální systémy jsou otevřené síťové systémy, které mohou zaznamenávat, interpretovat a řídit procesy ve fyzickém světě pomocí senzorů a akčních členů. K důležitým vlastnostem kyber-fyzikálních systémů patří schopnost učit se, rozpoznávat situace, autonomní činnost, zaznamenávání dat a následná extrakce informací a agregace znalostí (strojové učení). Dalšími trendy spojenými s Průmyslem 4.0 jsou úspora energie (vzhledem ke klimatickým změnám) a trend modularity. Již bylo vysvětleno, jak FMT zapadá do trendu snižování energetické spotřeby (Obr. 23) a úspory materiálů (univerzální VEVM ventily). Na stavbě FMT je také vidět trend modularity, FMT existuje v různých konfiguracích. Systém výroby v Průmyslu 4.0 by měl fungovat tak, že jednotlivé části systému jednají autonomně. I tento požadavek FMT splňuje, jelikož disponuje výpočetním výkonem a integrovanými senzory. Tzn., může měnit parametrizaci během provozu na základě informací ze senzorů či řídicího algoritmu. Aby bylo možné naplnit požadavky Průmyslu 4.0 na kyber-fyzikální systém, je také třeba nahradit mechanicky nastavitelné součásti softwarem, přičemž musí být zachovány kladné vlastnosti klasické pneumatiky, jednoduchá technologie a robustnost. Toto je možné splnit mechatronickým přístupem. Řešením je zde funkčně integrovaný ventil VEVM, který ovládá standardní válec. Proporcionalita je zajištěna konstrukcí ventilu VEVM. Funkce ventilu jsou implementovány na integrovaném mikroprocesoru v modulu CTMM-S1-C. Komunikace mezi ovladačem CTMM-S1-C (VEVM terminálem) a PLC (CPX modul) probíhá po sběrnici s protokolem CBus, po kterém je přenášeno 6 bytů vstupů a výstupů pro každý univerzální ventil VEVM. [26]

Další inovativní schopností FMT může být zjišťování polohy. Standardně jsou ke zjišťování polohy pneumatických motorů používány koncové senzory, které indikují, kdy je motor v koncových polohách, a jsou používány při sekvenčním řízení. Zároveň mohou být použity pro základní diagnostiku chyb. Přesnou polohu pneumotoru lze také určit použitím analogových snímačů polohy, to je ale značně zatěžující z hlediska ceny. Pro programovatelný mechatronický pneumatický systém je ale důležitá kontinuální znalost

polohy pístu. Díky komplexnímu matematickému modelu umožňuje FMT určit polohu pístu zpětným výpočtem za pomoci dat z integrovaných senzorů. Lze tedy použít senzory, které jsou integrovány v univerzálním ventilu VEVM a které měří tlak na portech. Tlak v komorách pneumatického motoru se může lišit od tlaku v místě měření i při použití krátkých spojovacích vzduchových hadic. Aby bylo určení pozice pístu možné, je třeba použít velmi přesný model, který je popsán v článku [27] a je sestaven z mechanického modelu válce, dynamiky tlaku v obou jeho komorách (před a za pístem), modelů dvou vzduchových hadic a modelu ventilu. Jedná se o model 12. řádu. Tento model používá jak integrované senzory, tak senzory koncové polohy. Na Obr. 24 je vidět porovnání změřených parametrů a parametrů určených modelem pro pneumatický válec Festo DSNU-40-160. Bylo dosaženo odhadu z modelu s maximální odchylkou cca 3 mm. Přestože se jedná o skvělý výsledek, nedosahuje kvality dosažené při měření. Proto je na výsledky modelu ještě použit koncept iterativního učení, který je vhodný zejména pro aplikace, kde se vyžadovaný průběh pohybu opakuje. Odchylka změřená v jednom opakování je použita pro snížení chyby v opakování následujícím. [27]



Obr. 24 Porovnání naměřených parametrů a parametrů získaných odhadem z matematického modelu systému [27]

3.1.4. KOMUNIKACE

K ovládači CTMM terminálu VTEM lze připojit různé řídicí bloky nebo uzly sítě CPX. CTMM-S1-C ovladač zprostředkovává komunikaci mezi CPX terminálem a komponentami FMT. CTMM ovladač má také ethernetové rozhraní, které umožňuje využití intuitivního uživatelského prostředí tzv. "WebConfig" k parametrizaci ventilů. Jednotlivé Motion Apps jsou ventilům přidělovány z CTMM řídicího modulu. Na vstupních modulech CTMM-S1-A/D může být připojeno až 16 digitálních nebo analogových vstupů, které jsou zpracovávány pouze ve FMT a nejsou přístupné přímo z vyššího řídicího systému. Moduly

CPX terminálu podporují všechny standardní komunikační protokoly. Mohou být také použity CPX moduly analogových a digitálních vstupů. Lze připojit i modul podporující OPC-UA pro aplikace v Průmyslu 4.0. K CPX systému může být připojen modul CPX-CTEL, který umožňuje integraci dalších až 4 zařízení do propojeného systému. [23] [28]

CPX terminál umožňuje připojení FMT k vyšším řídicím systémům pomocí řídicího bloku nebo síťového uzlu. Z pohledu FMT terminálu je FMT jednou komponentou, se kterým CPX terminál komunikuje. CPX terminál a ovladač CTMM-S1-C mohou být parametrizovány operátorskou jednotkou CPX-MMI, pomocí softwaru Festo Machine Tool (CPX-FMT) nebo vyšším řídicím systémem. Komunikace mezi vyšším řídicím prvkem (skrz CPX terminál) a FMT je realizována pomocí 8 x 6 bytů. Každému z maximálního počtu 8 ventilů je přiřazeno 6 bytů vstupních (PDI) a 6 bytů výstupních dat (PDO). [28]

Některé CPX řídicí bloky, které mohou být použity, jsou CPX-FEC-1-IE, CPX-CEC-C1-V3, CPX-CEC-S1-V3. Všechny tyto řídicí bloky umožňují až 512 digitálních vstupů/výstupů, 32 analogových vstupů nebo 18 analogových výstupů. Všechny také mají ethernetové rozhraní a podporují protokoly EasyIP a Modbus/TCP. V závislosti na zvoleném bloku mohou být programovány v prostředích FST nebo CODESYS, mít integrovaný webový server, programovací rozhraní Sub-D a podporovat protokoly CANopenMaster. [23]

Vhodnými uzly sítě, které lze na CPX terminál připojit jsou CPX-FB36, CPX-FB33, CPX-M-FB34 a CPX-FB37. Tyto uzly sítě umožňují připojení až 512 digitálních vstupů/výstupů, 32 analogových vstupů nebo 18 analogových výstupů. Podle zvoleného modulu pak mohou pracovat se sběrnici PROFIBUS-DP, EtherNet/IP, PROFINET a EtherCAT. Lze napojit i další uzly kompatibilní s CPX terminálem. [23]

3.1.5. SHRNUTÍ ZÁKLADNÍCH CHARAKTERISTIK FMT

Motion Terminal VTEM, Festo Motion Terminal, je programovatelný ventilový terminál, ve kterém je funkce ventilům přiřazena softwarově – aplikacemi Motion Apps. Pomocí svých univerzálních ventilů VEVM a aplikací Motion Apps může zastávat funkci až 50 různých komponent, jako jsou různé typy rozvaděčů, senzorů tlaku, regulátorů tlaku, komponent pro aplikace Soft Stop, ventilů s regulací průtoku, proporcionálních regulátorů tlaku a dalších. Hlavními přednostmi terminálu jsou funkční flexibilita, energetická úspornost a kompatibilita s konceptem Průmyslu 4.0. Terminál je napájen napětím 24 V DC a má normální jmenovitý průtok 480 l/min. Na ventilu mohou být umístěny moduly pro analogové nebo digitální vstupy, které jsou dostupné prostřednictvím Motion Apps. FMT má stupeň krytí elektrického zařízení IP65, což znamená, že jeho elektrická část je zcela prachotěsná a má ochranu proti tryskající vodě. FMT může využívat následující uzly průmyslových či ethernetových sběrnic prostřednictvím CPX terminálu: PROFIBUS DP, PROFINET, EtherCAT, Ethernet/IP, DeviceNet, CC-Link, Powerlink, Sercos, Modbus/TCP. Na CPX terminál FMT mohou být napojeny také další moduly: moduly vstupů a výstupů, řídicí modul CPX-CEC-C1-V3 pro CODESYS vestavěné řízení s OPC UA, CTEL moduly pro zapojení podřízených systémů. Další dokumentace a katalogové listy jsou přiloženy na USB flash disku, který náleží k této práci. [21][23]

3.2. FESTO MOTION APPS

Prozatím je pro FMT dostupných 10 aplikací Motion Apps a další novou aplikací by měla být Polohování i s volbou profilu pohybu, která má být dostupná na dotaz. Motion Apps jsou licencované softwarové produkty, které jsou v FMT používány pro přiřazení funkce

a jejich parametrů ventilu VEVN. Jednotlivé aplikace jsou označeny tzv. módem – pomocí něhož jsou přiřazovány. Vizuální značky jednotlivých aplikací byly převzaty z [22] a [23].

Při přiřazování aplikací a jejich parametrů je 6 bytů komunikace od PLC do VTEM rozděleno tak, jak je naznačeno na obr. 25. Přenášenými parametry, které definují typ aplikace, její stav a nastavení parametrů jako je tlak, pozice ventilu a stupeň otevření přívodu nebo odvodu vzduchu jsou tzv.: "Mode", "App-Control", "App-Option", "SetPoint Value 1" a "SetPoint Value 2". [28]

Byte 5		Byte 4		Byte 3		Byte 2		Byte 1		Byte 0					
Setpoint value 2				Setpoint value 1				Command							
PDO byte 1						PDO byte 0									
Command															
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
app option								app control		valve mode					

Obr. 25 Přenos parametrů určujících funkci ventilu VEVN na 6 bytech [28]

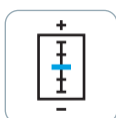
3.2.1. FUNKCE SPÍNACÍCH VENTILŮ



Mód aplikace = 1.

Tato funkce umožňuje na VEVN ventilu simulovat standardní ventilové rozvaděče (4/2, 4/3 a 3/2). Při přerušení řídicího tlaku nebo napájení se všechny kanály VEVN ventilu uzavřou (ventily jsou monostabilní s vratnou pružinou, normálně uzavřené). Senzory uvnitř VEVN ventilu umožňují monitorování přepnutí stavů simulovaného rozvaděče a tlaky na portech. Aplikace nevyžaduje pro svou funkci žádné externí senzory. Pomocí parametru App-Option je zvolen typ simulovaného rozvaděče. V jakém funkčním stavu se simulovaný rozvaděč nachází, tedy stav portů 2 a 4, je definováno pomocí parametru App-Control pomocí bitů 7 a 6 v nultém bytu. [21][23][28]

3.2.2. PROPORCIONÁLNÍ REGULACE PRŮTOKU



Mód aplikace = 2.

Dvě funkce proporcionálního řízení průtoku jsou integrovány v jednom ventilu pro ekonomické a kompaktní řešení. Tzn., že ventil VEVN se chová buď jako proporcionální ventil 4/3 (řízení portů je propojeno) nebo jako dva proporcionální průtokové ventily 3/3 (řízení portů je odděleno). Všechny tyto ventily jsou ve střední pozici uzavřeny. Aplikace nevyžaduje externí senzory. Pomocí nastavení parametru, který reprezentuje hodnotu od -100 % do +100 % je regulováno otevření ventilu a směru průtoku. Pozice ventilu je sledována integrovanými senzory a je skrz aplikaci přístupná. [21][23][29]

3.2.3. PROPORCIONÁLNÍ REGULACE TLAKU



Mód aplikace = 3.

Jedná se o simulaci funkce dvou nezávislých regulátorů tlaku. Pro oba porty (2 a 4) je možné regulovat tlak nezávisle. Nastavuje se požadovaná hodnota tlaku na portech 2 a 4. Integrované senzory VEVN ventilu umožňují měření reálné hodnoty tlaku na portech 2 a 4. Tuto aplikaci lze využít s vakuem. Aplikace nevyžaduje externí senzory. [21][23][30]

3.2.4. REGULACE TLAKU PODLE MODELU



Mód aplikace = 4.

Aplikace nevyžaduje externí senzory. Uživatel nastavuje požadovaný tlak na pneumatických prvcích, které jsou propojeny s porty 2 a 4. Vztah mezi tlakem na portech VEVM ventilu a tlakem na výkonovém prvku (pneumatickém aktuátoru) je určen matematickým modelem, proto je možné regulovat tlak v akčním prvku (např. v komoře pneumatického motoru). Toto je výhodné v aplikacích, kde terminál a prvek propojují dlouhá pneumatická vedení, jejichž odpor nelze zanedbat. Aby bylo možné použít matematický model, je třeba zadat některé hodnoty, jako jsou vnitřní průměry a délka hadic/trubek a objem připojený z vedení 2 a 4 nebo také průměr pístu. [23][31]

3.2.5. ŠKRCENÍ PŘÍVODU A ODVĚTRÁNÍ



Mód aplikace = 5.

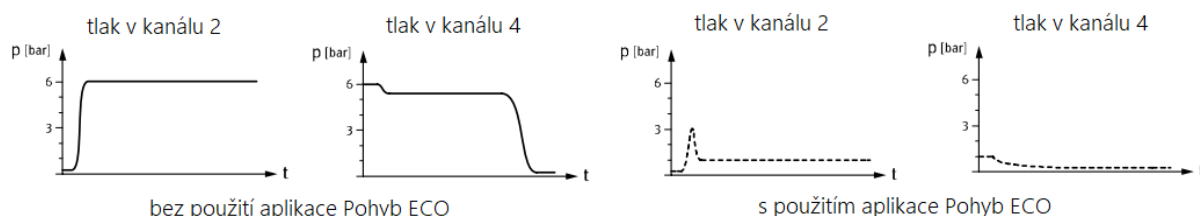
Na každém kanálu (2 a 4) lze samostatně nastavit škrcení přívodu vzduchu i škrcení odvětrání. Toto škrcení lze nastavit v provozu vzdáleně a polohu škrcení lze měnit i za chodu. Škrcení také nemůže být fyzicky přenastaveno nepovolanou osobou, je chráněno proti manipulaci. Škrcení na přívodu i odvětrání jsou nastavována procentuálně a to s minimální šířkou kroku 0,1 %. Tato aplikace obsahuje také funkci tzv. "Soft-start". Ta, pokud je tlak v komoře menší než 50 % z tlaku na přívodu vzduchu, nejprve komoru částečně natlakuje, než spustí pohyb. Natlakování zabraňuje nekontrolovanému rozjetí válce do druhé části komory. Tato aplikace nevyžaduje externí senzory. [21][32]

3.2.6. POHYB ECO



Mód aplikace = 6.

Aplikace umožňuje vykonávat energeticky úsporné pohyby válců, které jsou řízeny pouze řízením přívodu vzduchu. Odvětrání je 100% otevřeno a tuto hodnotu zde nelze měnit. Úspora je získána tak, že škrcený přívodní tlak je po dojetí do koncové polohy uzavřen. Tato aplikace ke své funkci potřebuje dva digitální senzory polohy a modul vstupů CTMM-D pro jejich připojení. Lze dosáhnout úspory energií až 70%. Na Obr. 26 jsou vyobrazeny průběhy tlaků na portech 2 a 4 bez a s použitím této aplikace. [21][23][33]



Obr. 26 Rozdílné průběhy tlaku v kanálech 2 a 4 pokud aplikace Pohon ECO není a je použita [21]

3.2.7. PŘEDVOLBA ČASU POHYBU



Mód aplikace = 7.

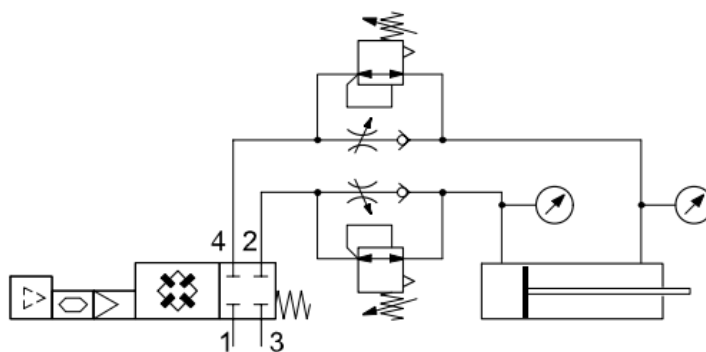
Aplikace provádí samočinnou regulaci škrcení tak, aby doba přejezdu odpovídala požadované době pohybu. Tato aplikace vyžaduje 2 digitální snímače koncových poloh a CTMM-D modul digitálních vstupů na FMT. Proces seřízení pro zadané hodnoty je adaptivní se samočinným nastavením. Nejprve jsou několikrát provedeny pohyby a upravováno škrcení, tím algoritmus seřídí pohyb. Počet cyklů učení je 10 nebo menší. Tlumení v koncových polohách je nutno nastavit samostatně. Upravované škrcení je vždy škrcení na odfuku, přívod vzduchu zůstává zcela otevřený. Aplikace kontinuálně vyhodnocuje časy pohybů. Pokud se pohyby odchýlí od požadavků, dojde opět k adaptaci. Aplikace obsahuje variantu Soft-start funkce. [21][34]

3.2.8. VOLITELNÁ ÚROVEŇ TLAKU



Mód aplikace = 8.

Aplikace provádí úsporu energie tak, že sníží tlak na přívodu vzduchu. Je nastaven tlak na jednom pracovním portu a druhým portem je prováděn odfuk. Jednak je regulován tlak vstupu vzduchu a zároveň je na druhém portu aplikováno škrcení k regulaci rychlosti pohybu. Port, kterým je vzduch přiváděn, je tlakově regulován, port, kterým je vzduch odváděn, je škrcen, jak je zřetelné na Obr. 27. Tlak může být nastaven na portu 2 a 4 jednotlivě a to mezi 2 a 7 bary. Tato aplikace by měla být používána pouze pro motory s průměrem pístu nad 25 mm. Aplikace nevyžaduje externí senzory polohy a obsahuje variantu Soft-start funkce. [21][35]



Obr. 27 Schéma znázorňující funkci aplikace Volitelná úroveň tlaku [21]

3.2.9. SOFT STOP



Mód aplikace = 11.

Aplikace umožňuje zkrácení doby cyklu až o 70 %. Aplikace Soft Stop podporuje rychlé dynamické pohyby, které jsou ale před koncovou polohou tlumeny zpětným tlakem. Tím je dodržena požadovaná koncová rychlost/energie pístu. Kvůli absorpci zbytkové energie musí být použity pohony s automatickým seřízením tlumení. Tato aplikace také obsahuje variantu Soft-start funkce a vyžaduje dva vysílače polohy SDAP dlouhé alespoň 50 mm, které jsou umístěny v koncových polohách. [23][36]

3.2.10. DIAGNOSTIKA ÚNIKŮ



Mód aplikace = 12.

Tato aplikace má za úkol detekovat úniky vzduchu, které mohou být způsobeny poruchou nebo opotřebením. Není určena přímo pro monitoring, ale pro preventivní údržbu. Pro detekci úniků je použit jako indikátor pokles tlaku. Při uvedení systému do provozu je provedena referenční diagnostika. Jsou také nastaveny limity pro únik vzduchu. Poté jsou výsledky provozní diagnostiky porovnávány s touto referenční hodnotou. Při diagnostice jsou automaticky prováděny dopředné a zpětné pohyby pohonů. Pokud je při diagnostice zjištěno překročení limitů, odrazí se tato skutečnost na výstupu, a to buď jako číslice, nebo v prostředí WebConfig jako barva "semaforu". Aplikaci nelze použít na port 2 a 4 samostatně, je vždy prováděna zároveň pro oba porty. Diagnostiku je možné provádět pouze pro některé pohony (známých parametrů), ideálně v horizontální poloze. Aplikace nevyžaduje externí senzory. [21][37]

3.2.11. POZICOVÁNÍ A PROFIL POHYBU



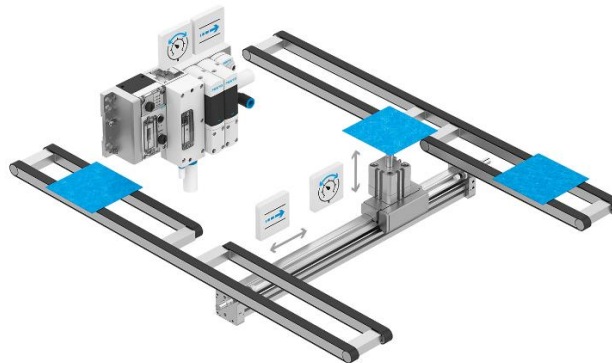
Jedná se o nově avizovanou aplikaci (co do počtu 11. Motion App pro FMT), která je dostupná na dotaz. Aplikace pro pozicování bude umožňovat polohování na celém pracovním rozsahu zdvihu, jako to nabízejí servomotory se střední třídou přesnosti, a to ekonomicky výhodněji než u elektrických pohonů. Jedná se o ovládání pohybu pístu pomocí měření tlaku a mezních hodnot parametrů rychlosti, zrychlení a derivace zrychlení (tzv. ryvu). Aplikace má být použitelná pro zdvihy válců od 90 do 300mm s průměry válců 20, 25, 32, 40 a 55 mm. [22][38]

3.3. PRŮMYSLOVÉ APLIKACE FMT

Na základě výše uvedených vlastností je zřejmé, že FMT může být využit v řadě pneumatických aplikací, a to především tam, kde najdou využití jeho integrované senzory a také adaptibilní řízení. FMT je velmi vhodný pro aplikace, které vyžadují přizpůsobení dle požadavků zákazníka nebo dle právě probíhající výrobní série.

3.3.1. TRANSPORT WAFERŮ (SUBSTRÁTOVÝCH DISKŮ)

Wafery jsou polovodičové disky, které slouží jako základ při vytváření mikroobvodů. Festo představilo aplikaci FMT pro jejich přemísťování. Pro tento účel jsou použity Motion Apps pro pozicování (tzv. "Positioning") a pro proporcionální regulaci tlaku (tzv. "Proportional pressure regulation"). Motion App pro polohování je použita pro dopravu waferu z jednoho pásu na druhý. Aplikace pro proporcionální regulaci tlaku je pak použita na jednom portu pro vertikální zdvih a na druhém portu pro regulaci stupně vakua na přísavce, která slouží k přichycení waferu. [22]



Obr. 28 Transport waferů [39]

3.3.2. PNEUMATICKÉ PRŮMYSLOVÉ MANIPULÁTORY



Obr. 29 Pneumatický manipulátor firmy DOTEK využívající FMT [40]

Nizozemská firma Dotec BV, která vyrábí pneumatické průmyslové manipulátory, nyní v nové generaci strojů používá FMT. Tyto stroje pomáhají pracovníkům při zvedání a manipulaci s velkými a těžkými břemeny. Pilotním modelem nasazení FMT je manipulátor pro role (Obr. 29). Flexibilita FMT umožňuje realizovat různé funkce bez změny hardwaru, což snižuje cenu specifických řešení pro jednotlivé zakázky. Jeden ze zákazníků firmy nyní využívá tento manipulátor k přemísťování různě tvarovaných plechů pomocí vakua. Některé aplikace Motion Apps, které jsou při úkonech zvedání a přemísťování použity, jsou: aplikace pro proporcionální regulaci tlaku (tzv. "Proportional pressure regulation") využitá pro zvedací sekvenci pohybů a aplikace Soft Stop pro pokládání břemene. Výhody, které společnost vedly k integraci FMT do strojů jsou především flexibilita, menší hlučnost, měkčí a hladší manipulace a také možnost provedení uvedení zařízení do provozu, monitorování a údržby ze vzdáleného pracoviště a s tím spojená eliminace cestovních nákladů. [40]

3.3.3. ZÁBAVNÍ PRŮMYSL

Kalifornská společnost MediaMation využívá FMT a servopneumatické polohování v sedačkách MX4D Motion EFX pro 4D kina. Digitální pneumatika zajišťuje pohyby sedačky a další speciální efekty. Některé využití Motion Apps jsou aplikace proporcionální regulace průtoku (tzv. "Proportional directional control valve") a aplikace pro proporcionální regulaci tlaku (tzv. "Proportional pressure regulation"). Tyto aplikace ovládají průtok a tlak stlačeného vzduchu pro sekvence pohybů. Sedačky využívají také standardní levnější ventily pro jiné efekty, jako je simulace poryvů větru. Konstrukce sedačky MX4D Motion EFX je zřetelná na Obr. 30. [41]



Obr. 30 Sedačka MX4D Motion EFX pro 4D kina s odhalenou spodní konstrukcí [41]

3.3.4. TOVÁRNA NA OBUV A KOŽENÉ ZBOŽÍ

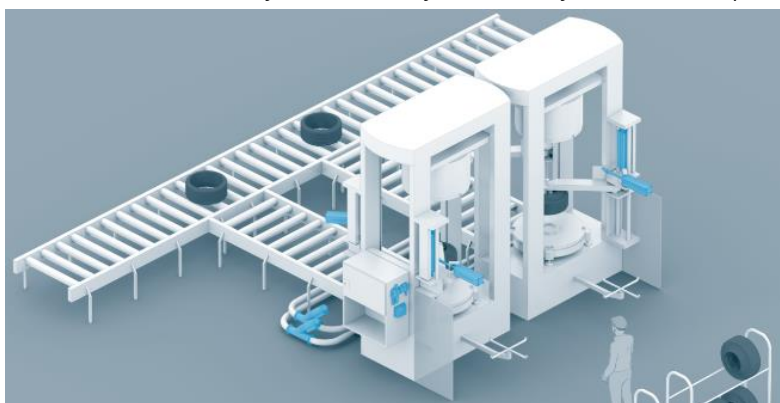
V novém stroji na výrobu slotů na kreditní karty pro peněženky byl FTM použit italskou firmou Autec, která vyrábí stroje pro továrny na obuv a jiné kožené zboží. Pro tuto aplikaci potřebovala firma komponentu, kterou by bylo možné často rekonfigurovat. Stroj slouží k lepení kožené a hedvábné části, která je dále servorobotem předána do skládacího stroje. Nově dosáhli produktivity 8 slotů slepených a složených za 14 s. [42]



Obr. 31 Vlevo: zapojení FMT v přístroji, vpravo: hlava stroje na lepení [42]

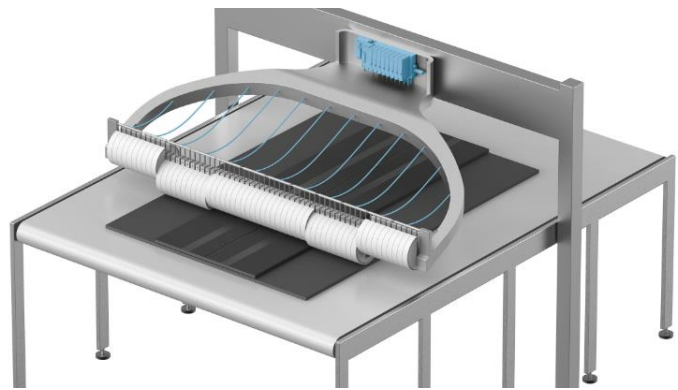
3.3.5. VÝROBA PNEUMATIK

Festo vytvořilo návrh na aplikace FMT při výrobě pneumatik. Použitím FMT by mohla být uspořena energie a čas při procesu vkládání surového pláště (složená pneumatika před procesem lisování a vulkanizace) do vulkanizačního lisu (Obr. 32). Aplikace Motion App pro volitelnou úroveň tlaku (tzv. "Selectable pressure level") by zajišťovala vklad surového pláště do lisu jemně a bez kolísání. Čím uniformnější je proces vkládání, tím rychleji může být prováděn. Tato změna by mohla u každého kusu uspořit čas až několika sekund. Také tlaky používané aktuátory při úkonech mohou být zmenšeny a tím by došlo k úspoře stlačeného vzduchu, tedy energie. Zároveň je výhodou možnost využití aplikace pro diagnostikování úniků vzduchu pro prediktivní údržbu. Celkovým benefitem by byl o 33 % rychlejší čas vkládání a snížení spotřeby energie o 60 %. Zároveň se jedná o systém, kde je možná preventivní diagnostika a ochrana proti neoprávněné manipulaci s nastavením. [43] [44]



Obr. 32 Stanice vulkanizačního lisování [43]

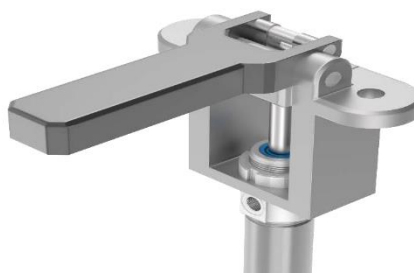
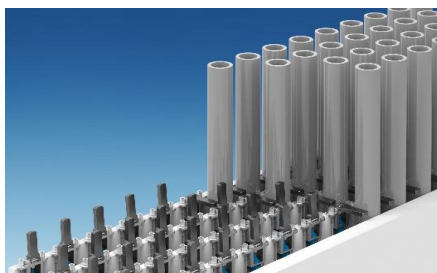
Další možnost využití FMT u výroby pneumatik je v procesu ještě před skládáním komponentů do surového pláště. Na jednotlivých vrstvách gumy jsou malými pneumatickými válci vytvořeny různé vzory (Obr. 33). Řízení přívodu tlaku musí být velmi přesné. Pro tuto činnost byly využívány proporcionální ventily pro jednotlivé zóny, ty mohou být nyní nahrazeny FMT. Jeden terminál s 8 univerzálními VEVN ventily může ovládat 16 různých tlakových zón. Zde použitá aplikace Motion App je aplikace pro regulaci tlaku podle modelu (tzv. "Model-based pressure control"). FMT zároveň svými vnitřními senzory monitoruje tlak pro účely kontroly kvality. [45]



Obr. 33 Vytváření vzorů na vrstvách gumy s použitím FMT [45]

3.3.6. APLIKACE NA ROPNÉ PLOŠINĚ

Jednou z Festem prezentovaných aplikací FMT je aplikace v oboru zpracování ropy a plynu. Jedná se o použití FMT k řízení a monitorování otevírání západek při vertikálním skladování trubek na plovoucí ropné plošině (Obr. 34). Západky jsou otevírány pomocí pohybu pneumatického motoru (Obr. 34). Západky lze otevírat také ručně, ale většina plošin používá pro otevírání západek pneumatiku s řízením z řídicího pracoviště, vzhledem k umístění trubek vysoko (cca 25 m) nad hlavní palubou. Pneumatika je pro toto využití lepší než hydraulika či elektrotechnika, a to především s ohledem na cenu. Výhodou při využití FMT oproti jiným automatizovaným systémům je hlavně oblast sensoriky. Senzory jsou umístěny přímo v terminálu a odpadá tedy nutnost instalace senzorů přímo na pneumatickém (či jiném) aktuátoru a vedení kabeláže do řídicí místnosti. Tato kabeláž by musela vyhovovat standardům pro prostředí, ve kterém hrozí nebezpečí výbuchu. Senzory a kabeláž musí být také dostatečně robustní, aby vydržely změny teploty a korozní prostředí. Umístěním senzorů uvnitř terminálu, mimo dané prostředí, se také snižují nároky na komunikace a komplexitu řízení. Inteligentní zařízení jsou pak umístěna na palubě v ochranných krytech. Terminál a aktuátory otevírající západky spojuje pouze vedení vzduchu. Aplikace pro detekci koncové pozice (tzv. "End Position Detection") vypočítává objem proudu vzduchu v terminálu (jeho ventilu) a podle toho určuje pozici západky jako otevřenou, zavřenou nebo zablokovanou mezi těmito dvěma pozicemi. Další aplikací, která zde nachází uplatnění je Motion App pro diagnostiku úniků vzduchu (tzv. "Leakage Diagnostics"), která umožňuje detekovat úniky vzduchu v pneumatické síti. [13][46]



Obr. 34 Vlevo: systém skladování trubek na ropné plošině, vpravo: realizace západky ovládané pneumatickým pohonem [13]

3.3.7. BIONICKÉ ROBOTY

Festo využívá FMT také pro ovládání bionických robotů, kde FMT zajišťuje řízení a regulaci jejich komplexní kinematiky.

U měkké bionické ruky (tzv. "BionicSoftArm"), jejíž návrh byl inspirován anatomii sloního chobotu, je pozicování zajištěno pomocí modelového přístupu. Každá část přístroje je namodelovaná v softwaru pomocí parametrizace. Řídící algoritmus běží v reálném čase v FMT. Zároveň v terminálu probíhá kontinuální monitoring tlaku. Obdobným projektem a předchůdcem měkké bionické ruky je bionický robot (tzv. "BionicMotionRobot"), jehož návrh je taktéž inspirován sloním chobotem a chapadlem chobotnice. [47][48]

V dalším projektu je použita pneumatická robotická ruka (tzv. "BionicCobot") navržená na základě lidské anatomie. V rámci představení pneumatické robotické ruky s ní operátor komunikuje skrz systém pomocí tabletu, který je propojen s FMT pomocí ROS (Robot Operating System). ROS je otevřená platforma, která je zde využita k propočtu a plánování tras. Takto vypočítané souřadnice jsou poté odeslány do FMT. Na základě těchto informací a také informací ze 7 senzorů umístěných v kloubech ruky FMT v reálném čase kalkuluje, aplikuje řízení a měří změny tlaku v jednotlivých kanálech. [49]

Bionický robot (tzv. "BionicMotionRobot") a pneumatická robotická ruka (tzv. "BionicCobot") ovládané FMT jsou použity v rámci nejnovějšího projektu bionického pracoviště (tzv. "BionicWorkplace"). V rámci bionického pracoviště je HMI komplexní – operátor používá tablet, má na sobě speciální část oděvu, jeho pohyby jsou sledovány kamerami a také je mu umožněna hlasová kontrola. V těchto projektech se jedná o složité pneumatické systémy pro spolupráci s lidmi, jejichž fungování je z velké části zajištěno právě FMT jakožto komponentem digitální pneumatiky. Bez využití tohoto komponentu, by takto složitá pneumatická řešení byla realizovatelná pouze na úkor velké komplexity a úsilí. FMT a digitální pneumatika tak může umožnit nové aplikace pneumatiky na poli spolupráce lidí a robotů na pracovišti. [50]



Obr. 35 Vlevo: BionicCobot [49], vpravo: BionicMotionRobot [48]

3.3.8. BALICÍ LINKA

Nový balicí stroj Sigpack VPF (Obr. 36) firmy Bosch pro škálovatelné plnění sáčkových obalů využívá flexibilitu FMT. Tento stroj dokáže naplnit až 1800 obalů za minutu. Stroj má modulární uspořádání a dokáže tak plnit různé obaly během jednoho provozu. Proces může probíhat ve 2-12 pruzích, podle požadovaných kusů a velikosti obalů. Díky FMT může být nastavení každého pruhu individuální. Terminál také umožňuje kontinuální měření tlaku a vakua, které jsou použity k monitorování procesu a také diagnostiku úniků. Monitorováním tlaku a vakua může být detekováno opotřebení nebo kontaminace systému. Hlavní Motion App využitou pro dávkování produktu je aplikace pro proporcionální regulaci tlaku (tzv. "Proportional pressure regulation"). [51]



Obr. 36 Balicí stroj s využitím FMT [51]

4. CPX TERMINÁL

CPX terminál je modulární systém periferií pro ventilové terminály. Díky modularitě lze sestavit konfiguraci, která přesně odpovídá požadované funkci na základě parametrů, jako je počet ventilů, vstupů a výstupů. Tento terminál zajišťuje připojení k řídicím systémům různých výrobců a lze ho provozovat s více než 90 % běžných sítí. Umožňuje i připojení do univerzálních sítí (nejen průmyslových) na bázi Ethernetu. Tak může být zavedena jednotná komunikační síť v celém podniku. Protokol sítě závisí na použitých uzlech CPX. Terminál disponuje krytím IP65/IP67 při kompletně smontovaném systému a pokud jsou nevyužité porty řádně zakryty. Dle funkce můžeme moduly CPX terminálu rozdělit na řídicí uzly, propojovací uzly a vstupně-výstupní moduly. [52]

4.1. HARDWAROVÉ CHARAKTERISTIKY

Přehled modulů periferií	koncové desky, pneumatická rozhraní, řídicí bloky, rozhraní CP/ rozhraní CTEL, diagnostická zařízení, moduly vstupů/výstupů
Instalace	<ul style="list-style-type: none">• až 9 modulů elektrických vstupů/výstupů, síťových uzlů a rozhraní pro pneumatiku• volitelná technika připojení• lze použít jako čistě elektrický modul
Některé charakteristiky	<ul style="list-style-type: none">• volitelné připojení elektrického napájení• velká tolerance napájecího napětí• digitální vstupy a výstupy• vstupy pro tlak• vstupy pro teplotní články• IP65 a IP67 (montáž na stroj) nebo IP20 (připojení svorkovnicí)

4.2. SOFTWAREVÉ CHARAKTERISTIKY

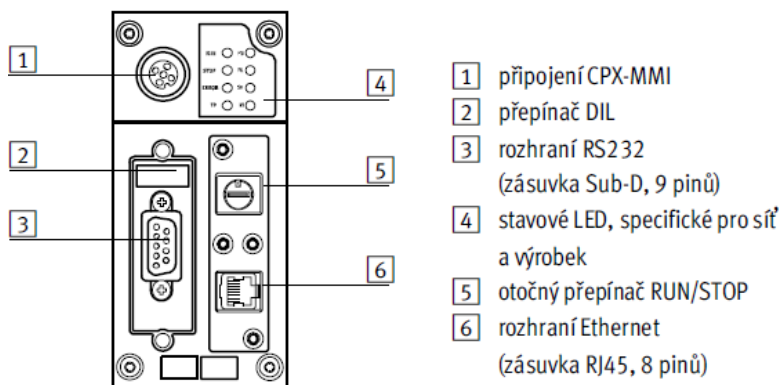
Sítě, ve kterých lze CPX terminály provozovat:	PROFIBUS – DP PROFINET INTERBUS DeviceNet CANopen CC-Link
Komunikační protokoly, které lze použít:	EtherNet/IP Modbus/TCP PROFINET POWERLINK EtherCAT Sercos III

4.3. HLAVNÍ APLIKAČNÍ OBLAST

Hlavní aplikační oblastí CPX terminálů je řízení ventilových terminálů a pneumatických systémů. Tato zařízení jsou decentralizovaná s přímou montáží na stroj. Mohou tak být využita pro řízení samostatných pracovišť nebo propojených samostatných podřízených systémů. Nebo mohou být využita pro propojení k vyššímu řídicímu prvku v rámci automatizovaných systémů s IT technologií a fungovat jako vzdálený automat. [52]

4.4. CPX-CEC-S1-V3

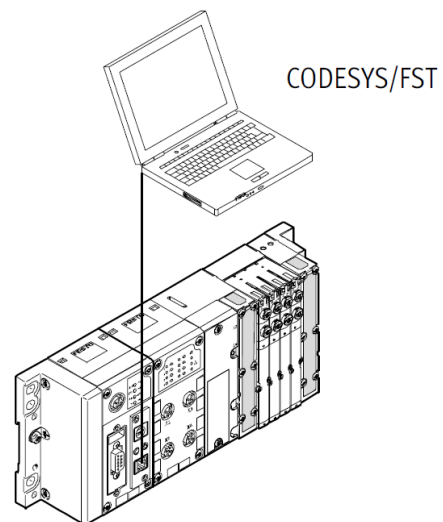
Tento řídicí CPX modul je použitý pro FMT, který je k dispozici v laboratoři C1-109 FS ČVUT, proto je mu zde věnován samostatný oddíl. Stavba řídicího bloku CPX-CEC-S1-V3 je popsána na Obr. 37. Typové označení CPX-CEC-S1-V3 znamená: CPX – modulární elektrický terminál, CEC – řídicí blok, S1 – rozhraní RS232, V3 – CODESYS V3. [53]



Obr. 37 Stavba řídicího bloku CPX-CEC-S1-V3, pohled shora [54]

Jako všechny řídicí bloky CPX-CEC-...-V3 tento blok umožňuje programování v CODESYS dle standardu IEC 61131-3, komunikaci po Ethernetu (Modbus/TCP, EasyIP, TCP/IP) a komunikaci po průmyslových sítích v kombinaci s uzlem sítě na terminálu CPX. Bloky CPX-CEC-...-V3 mohou fungovat jako samostatné řídicí bloky, nebo mohou fungovat jako vzdálené automaty, které lze propojit s nadřazeným PLC pomocí uzlů sítě CPX nebo Ethernetu (PROFINET, EtherNet/IP, EtherCAT, PROFIBUS, DeviceNet). [53]

Je to ucelená automatizační platforma pro standardní a proporcionální pneumatiku, servopneumatiku, senzory a pohybové úlohy s až 127 pohony. Výhodami jsou také rychlejší časy cyklů (200 μ s/1000 instrukcí) a rozsáhlá knihovna funkcí CODESYS. V rámci výukových úloh v této práci je řídicí blok provozován v provozu stand-alone, jak je schematicky zobrazeno na Obr. 38. [53]



Obr. 38 Stand-alone provoz CPX-CEC [52]

5. CODESYS

CODESYS je softwarové prostředí pro programování dle standardu IEC 61131-3. CODESYS podporuje všech pět programovacích jazyků IEC 61131-3, které jsou uvedeny v kapitole 2.3.2. CODESYS umožňuje programování pro PLC, mikropočítače a další hardwarová řešení nezávisle na výrobci nebo typu hardwaru. Nebyl vyvinut žádným z producentů PLC zařízení, ale více než 250 různých výrobců používá právě CODESYS jako jedno z jejich programovacích prostředí. Obsahuje simulátor, takže kód může být vyzkoušen i bez přítomnosti hardwarového zařízení. Dále obsahuje také integrované vizualizační prostředí. Další výhodou prostředí CODESYS je to, že je poskytováno zdarma. [10]

CODESYS je rozsáhlým nástrojem pro průmyslovou automatizační techniku. Je plně kompatibilní s komunikačními protokoly pro průmyslovou automatizaci typu Fieldbus jako jsou PROFIBUS, CANopen, EthernetCAT, PROFINET a EtherNet/IP. Integruje množství komunikačních protokolů jako je OPC a OPC UA. Jako vývojové prostředí je vhodný pro Průmysl 4.0. Vzhledem k rozšířenosti tohoto prostředí se na internetu nachází velké množství návodů pro práci s CODESYS a samotný CODESYS má rozsáhlou tzv. "Online Help" sekci, která může sloužit jako učebnice pro práci s tímto prostředím a je dostupná online na adrese: <https://help.codesys.com/>. [55]

CODESYS je možné zdarma stáhnout po přihlášení z oficiálních webových stránek, ale v případě aplikací pro Festo produkty je ke stažení kompatibilní verze ze stránek Festa.

6. APLIKACE DIDAKTIKY TECHNICKÝCH PŘEDMĚTŮ NA ÚLOHY PRO FMT DLE [56]

Pro výuku práce s FMT je zásadní spojení teorie a praxe. Při výuce práce s FMT terminálem je uplatněno několik metod výuky. Jednou z nich je slovní výuka pomocí výkladu a práce s textovým materiálem. V tomto materiálu si může student dohledat znalosti, které mu chybí, případně najít bohatší zdroj znalostí ve zdrojových materiálech. Tato forma výuky je zde spojena se stanovením konkrétních cílů, a to spojením s laboratorní výukou. Pokud je úkolem naprogramovat v softwarovém prostředí CODESYS aplikaci využívající časovač, je studentovi doporučeno přečíst si o daném bloku a dané aplikaci nejprve průvodní text, pokud dané poznatky již nemá.

Studenti mohou být také vzděláváni metodou názorně demonstrační, kdy je jim představena již hotová úloha a je jim umožněno studium zdrojového kódu. Tento postup je doporučen speciálně pro úlohu č. 6, kde je představena sekvence více motorů s aplikací časovače a čítače. Úkolem studentů je pak sestavit zdrojový kód pro obdobnou sekvenci. Při programování jako kreativní činnosti je možné dosáhnout stejného výsledku různými cestami, ale je důležité, aby měli studenti možnost prostudovat již hotové řešení a zároveň, aby byl kladen důraz na paralelu s již v rámci předchozího studia absolvovanými pneumatickými úlohami.

Úlohy navržené v kapitole 8. spadají do metody výuky skrz praktické činnosti studentů, a to do laboratorních úloh praktického charakteru. V praktických úlohách studenti využívají získané poznatky z výuky, zde speciálně poznatky o programovacích jazycích PLC dle standardu IEC 61131-3, poznatky o komunikačních protokolech a poznatky o fungování pneumatických komponent.

Ke každé úloze je navržen test znalostí, které by si měl student osvojit během přípravy a laboratorní práce. Testy by měli být vypracovány studenty až po vypracování dané úlohy. Tyto testy se zaměřují především na ověření teoretických znalostí a znalostí ze softwarového prostředí CODESYS. Otázky v testech jsou otevřené, a to jak s širokou, tak i stručnou odpovědí.

6.1. MOTIVACE STUDENTŮ PŘI PRÁCI S FMT V LABORATOŘI

Při zadání laboratorní práce je studentům při práci s FMT poskytnuta volnost zpracování kódu na bázi aplikace v softwarovém prostředí CODESYS. Je podporována kreativita při řešení úloh. Studentům je zaručena bezpečnost při řešení úloh při dodržení laboratorního řádu a dbání pokynů vyučujícího pro práci s elektrickými zařízeními, pneumatickými aktuátory a stlačeným vzduchem obecně. V dokumentaci je možné najít jasné příklady řešení úloh a student je tedy směřován k úspěšnému řešení, ale zároveň má možnost od tohoto navrženého řešení odbočit a řešení vylepšit, či pozměnit. Studentům je také umožněno navrhnout svou vlastní aplikaci v rámci projektů, či jako téma závěrečné práce po schválení vyučujícím.

6.2. ŘAZENÍ ÚLOH DLE TAXONOMIE POZNÁVACÍCH CÍLŮ

Dle Bloomovy taxonomie poznávacích cílů existuje 6 hierarchických stupňů osvojení a to: znalost, porozumění, aplikace, analýza, syntéza a hodnotící posouzení, kde znalost je nejnižším stupněm osvojení a hodnotící posouzení nejvyšší. Série úloh je navržena tak, aby postupovala od nižších cílů k vyšším cílům. V úloze č. 1 student poznává FMT a učí se o jeho aplikacích, stavbě a využití. V dalších úlohách je postupně zvyšována jejich komplexnost. Složitější úlohy vznikají jako kombinace a skládání jednodušších úloh. Student tedy používá pro jejich řešení právě analýzu a syntézu. Hodnotící posouzení pak student aplikuje při popisu a obhájení svého vlastního řešení úloh, použitých aplikací atd.

6.3. NAVRŽENÍ VÝSTUPU Z ÚLOHY

Navrženým výstupem z daných úloh je pro úlohy, kde student programuje v softwarovém prostředí CODESYS, laboratorní protokol za celou skupinu, který by měl obsahovat popis navrženého chování a ovládání pneumatických aktuátorů společně s okomentovaným zdrojovým kódem.

7. PŘÍPRAVA PRO DIDAKTICKÉ ÚLOHY

Student si před prací s FMT nastuduje tuto kapitolu. Před praktickou činností se student seznámí s použitou instrumentací a nainstaluje si na vlastní počítač softwarové prostředí CODESYS tak, aby bylo kompatibilní s FMT takové konfigurace (s takovým řídicím blokem CPX), která je k dispozici v laboratoři C1-109 FS ČVUT. Případně může být po dohodě se správcem PC v laboratoři provedena instalace na místní počítač.

7.1. INSTRUMENTACE PRO ÚLOHY

Pro realizaci didaktických úloh v kapitole 8. je použita následující instrumentace:

- zdroj stlačeného vzduchu – v laboratoři C1-109 FS ČVUT fakulty strojní
- 4 x elektronické magnetické přibližovací jazýčkový senzor s upevněním [57]



Obr. 39 Senzor polohy Festo Didactic s upevněním na válec [57]

- produkt Festo Didactic
- čas sepnutí/rozepnutí max. 1 ms
- připojení 4 mm bezpečnostními spoji
- ochrana proti přetížení a zkratu
- ochrany proti opačné polaritě
- provozní napětí 5-30 V DC
- výstupní proud max. 100 mA
- uchycení pro válec s průměrem 20 mm
- 2 x T-drážka pro senzor na úchytu
- jedná se o upravenou verzi senzoru: SMT-8M-A-NS-24V

- 2 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor s aretací k pracovní desce [58]



Obr. 40 DSNU-20-100-PPV-A v úpravě pro Festo Didactic [58]

- produkt Festo Didactic
- upevnění pomocí zvrátelného šroubení
- maximální pracovní tlak 10 bar
- maximální délka zdvihu 100 mm
- síla při vyjetí (při 6 bar) 165 N
- síla při zajetí (při 6 bar) 140 N
- jedná se o pneumatický motor: DSNU-20-100-PPV-A

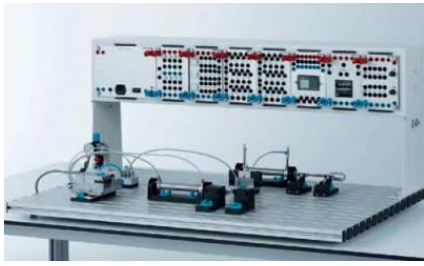
- 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) [59]



Obr. 41 JUV Festo Didactic [59]

- integrovaný manometr
- integrovaný filtr se stupněm filtrace 5 μm
- regulace tlaku v rozmezí 0,5-7 bar
- přípojka pro QS-6 (Quick Star) pro vzduchovou hadici PUN 6 x 1
- standardní průtok 120 l/min
- přívod z rozvodů od kompresoru v laboratoři C1-109 FS ČVUT
- jedná se o kombinaci následujících komponent: redukční ventil s filtrem LFR řady DB, pneumatický uzavírací ventil řady HE a dalších propojovacích komponent

- 1 x držák modulů pro profilovou perforovanou deskou Learntop-L [60]



Obr. 42 Learntop-L Festo Didactic [60]

- držák na moduly EduTrainer®
- pro instalaci na jedné straně pracovní stanice
- pro profilové desky 700 x 1000 mm
- pro profilové desky s horizontální konfigurací
- dodáván bez profilové desky

- 1 x profilová deska pro upevnění komponent Festo Didactic [61]



Obr. 43 Profilová deska Festo Didactic [61]

- profilová deska z eloxovaného hliníku
- komponenty k ní mohou být připevněny pomocí drážek
- připevňovací drážky jsou na obou stranách desky

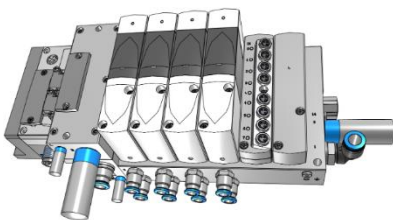
- 1 x napájecí modul EduTrainer® pro držáky modulů Learntop [62]



Obr. 44 Napájecí modul EduTrainer® [62]

- vstupní napětí: 85 – 265 V AC (47 – 63 Hz)
- výstupní napětí: 24 V DC
- maximální výstupní proud: 4 A
- odolný proti zkratu

- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H [63]



Obr. 45 Vizualizace FMT dané konfigurace z konfiguračního okna [63]

- řídicí modul CPX-CEC-S1-V3
- 4 VEVM ventily
- normální jmenovitý průtok: 480 l/min
- tlak: -0,9 ... 8 bar
- modul digitálních vstupů
- stupeň krytí: IP65

- 1 x napájecí kabel pro FMT s konektorem NTSD-WD-P



- na druhém konci vyvedený do banánků
- 4pinový konektor NTSD-WD-P

Obr. 46 Napájecí kabel pro FMT

- 4 x 3 pinový propojovací kabel se třemi bezpečnostními konektory [64]



- pro propojení přibližovacího senzoru Festo Didactic s modulem digitálních vstupů na FMT
- provozní napětí 24 V
- délka 1 m
- konektor M8 (3pinový)

Obr. 47 3pinový propojovací kabel [64]

- 1 x počítač nebo notebook (spolu s softwarovým vývojovým prostředím CODESYS)
- vzduchové hadice vnějších průměrů 4, 6, 8, 10 mm
 - 1 x 10 mm
 - 4 x 8 mm
 - 5 x 6 mm
 - 4 x 4 mm
- pneumatické armatury řady QS s druhem připojení hadice-hadice pro propojení vzduchových hadic různých průměrů (především QS-10-6, QS-8-6 a QS-6-4, kde místo QS-8-6 a QS-6-4 lze použít QS-8-4, ten ale nebyl použit v lab. C1-109)
 - 1 x QS-10-6
 - 4 x QS-8-6
 - 4 x QS-6-4
- 1 x síťový propojovací ethernetový kabel
- 1 x záslepka QSC-10H (pro zaslepení portu 1 přívodu vzduchu z pravé strany terminálu FMT, který je umístěn na připojovací desce VABM)



Obr. 48 Zleva: hadice a nástrčná redukovaná spojka pro napájení FMT, hadice a nástrčné redukované spojky pro jeden aktuátor, hadice a nástrčné redukované spojky pro druhý aktuátor, ethernetový kabel, záslepka [65]

7.2. INSTALACE CODESYS PRO VÝVOJ APLIKACÍ PRO FMT

Tento postup popisuje instalaci SW vhodného pro programování pro FMT v konfiguraci, v jaké je přítomen v laboratoři C1-109 FS ČVUT. V případě instalace za účelem vytváření aplikací a ovládání jiné konfigurace je nutné dbát na kompatibilitu staženého softwaru s danou hardwarovou konfigurací. Instalace by měla proběhnout v následujícím pořadí:

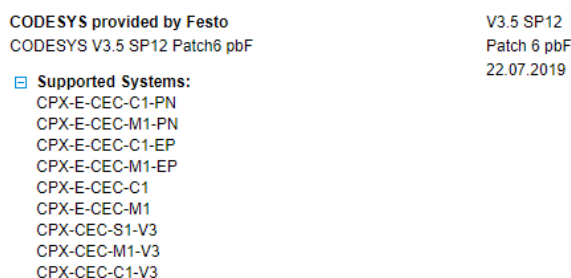
a) Vývojové prostředí – CODESYS

Instalovaná verze vývojového prostředí CODESYS musí korespondovat s použitým řídicím blokem. Pro lab. C1-109 FS ČVUT to je CPX-CEC-S1-V3. Verze prostředí CODESYS, kterou je nutno nainstalovat, je CODESYS V3.5 SP12 Patch6 pbF.

Tuto verzi lze stáhnout z webové stránky:

https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/default.aspx?q=codesys&tab=4&type=75#result

1. Stažení souborů (Obr. 49) z tzv. "Festo Support Portal" (portál podpory Festo).
2. Extrahování staženého archivu ZIP.
3. Instalace pomocí souboru "Setup_CODESYSV35SP12Patch6.exe", který se nachází v extrahované složce. Instalaci provádíme defaultně.



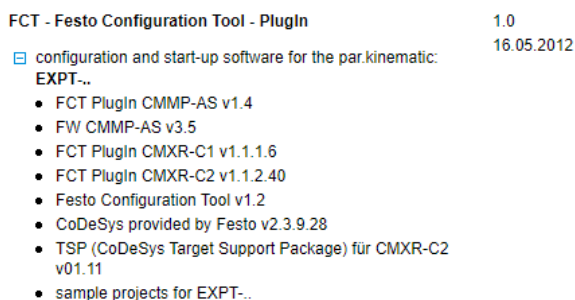
Obr. 49 Správná verze CODESYS pro FMT v lab. C1-109

b) Konfigurační nástroj – tzv. "Festo Configuration Tool – PlugIn"

Stažení konfiguračního nástroje Festo Configuration Tool – PlugIn lze provést z webové stránky:

https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/InternetSearch.aspx?q=codesys&ab=16&type=70#result

1. Stažení souborů (Obr. 50) z Festo Support Portal
2. Extrahování staženého archivu ZIP
3. Provedení defaultní instalace dle dokumentu "Readme.txt" z extrahované složky s vynecháním poslední položky (CODESYS Target).



Obr. 50 Festo Configuration Tool - PlugIn na webu Festo Support Portal

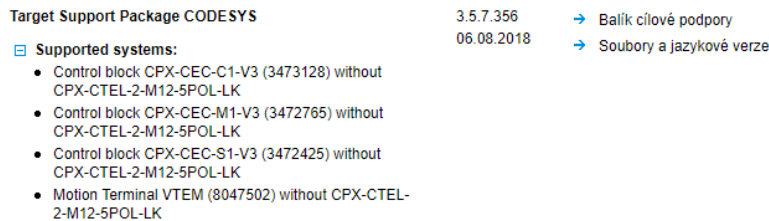
c) Balík cílové podpory – tzv. "Target Support Package CODESYS"

Je nutné stáhnout balík cílové podpory, který koresponduje s řídicím blokem CPX a použitou verzí vývojového prostředí CODESYS. Zde to je modul CPX-CEC-S1-V3 (3472425) without CPX-CTEL-2-M12-5POL-LK. Tento balík cílové podpory lze stáhnout z webové stránky:

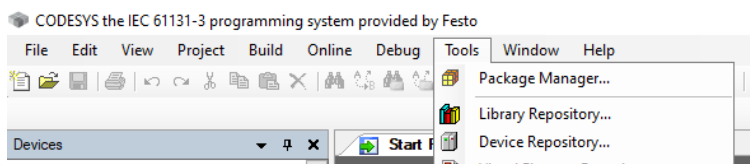
https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/InternetSearch.aspx?q=codesys&tab=16&type=73#result

1. Stažení balíku cílové podpory (Obr. 51).
2. Instalace balíku ve vývojovém prostředí CODESYS.

Tuto instalaci je nutné provést v prostředí CODESYS v nástroji tzv. „Package Manager“ (správce balíčků), jehož umístění v záložce tzv. "Tools" (nástroje) je na Obr. 52. V nástroji Package Manager se instalace provede kliknutím na tlačítko "Install" a vybere se požadovaný balík podpory z adresáře. Po instalaci by měl být tento balík vidět v okně otevřeného nástroje Package Manager.



Obr. 51 Správný balík cílové podpory pro konfiguraci FMT v C1-109



Obr. 52 Umístění přístupu do nástroje Package Manager ve vývojovém prostředí CODESYS

d) Funkční bloky – tzv. "Function Blocks CODESYS"

Před použitím softwarového prostředí CODESYS k vytváření aplikací pro terminál VTEM je nutné nainstalovat knihovnu funkčních bloků pro terminál VTEM. Tuto knihovnu lze stáhnout z webové stránky:

https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/InternetSearch.aspx?q=codesys&tab=16&type=74#result

1. Stažení souborů knihovny funkčních bloků (Obr. 53).
2. Extrahování staženého archive ZIP.
3. Instalace knihovny v softwarovém prostředí CODESYS.

Tuto instalaci je třeba provést v nástroji tzv. "Library Repository" (správce knihoven) softwarového prostředí CODESYS, který je přístupný ze záložky Tools (Obr. 52). V tomto nástroji provedeme instalaci kliknutím na tlačítko "Install" a z extrahované složky vybereme knihovnu "Festo_VTEM_DevCon". Poté je vhodné restartovat softwarové prostředí CODESYS. Po restartu je možné nainstalovanou knihovnu najít v nástroji Library Repository (Obr. 54). Extrahovaná složka obsahuje také podsložku "Documentation", která obsahuje podrobné vysvětlení použití VTEM funkčního bloku v prostředí CODESYS.

Function blocks CODESYS

3.5.7.221

Library valid from FW-Version 4.8.x

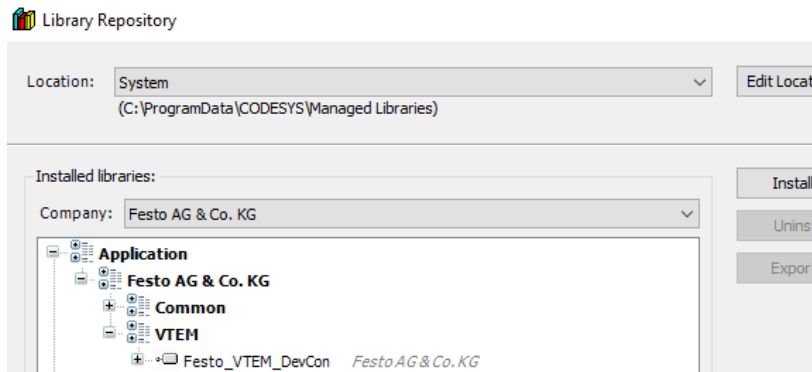
06.12.2018

Library for Codesys PLC in version 3.5
(also Beckhoff TwinCAT 3)

Supported systems:

- Motion Terminal VTEM (8047502)

Obr. 53 Knihovna funkčních bloků pro terminál VTEM dostupná na stránkách Festo Support Portal

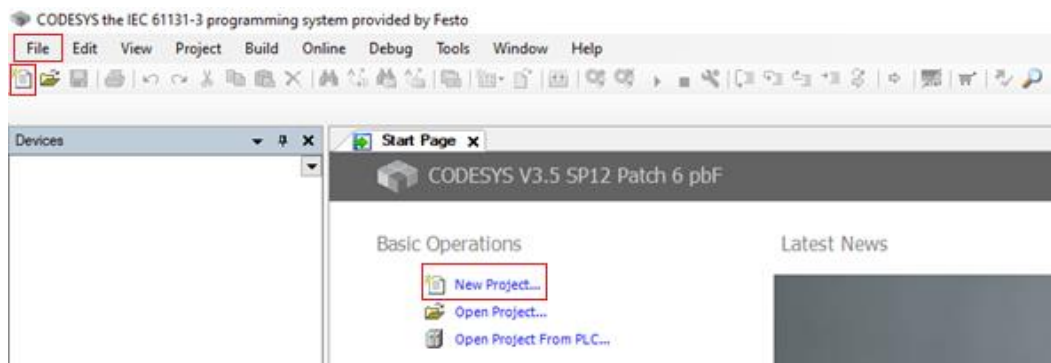


Obr. 54 Umístění nainstalované knihovny v nástroji Library Repository po restartu

7.3. APLIKACE PRO FMT V PROSTŘEDÍ CODESYS

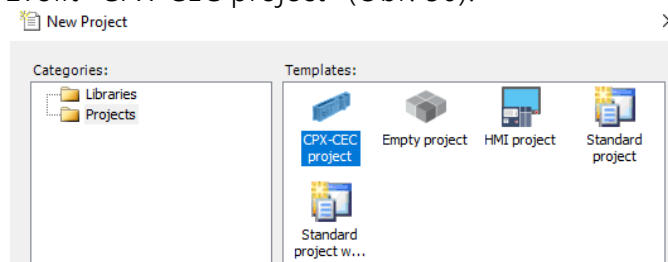
7.3.1. ZALOŽENÍ PROJEKTU PRO FMT APLIKACI

Po spuštění softwarového prostředí CODESYS se otevře hlavní okno se startovací stránkou. Nový projekt lze založit třemi způsoby (Obr. 55): ze záložky "File", kliknutím na ikonu nového projektu na horní liště, nebo z úvodní stránky (tzv. "Start Page").



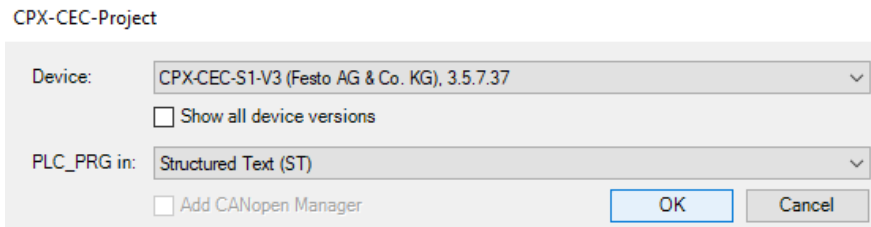
Obr. 55 Možnosti založení nového projektu

Dále je v průvodci tvorbou nového projektu třeba vybrat typ projektu, který je zakládán. Pro FMT je vhodné zvolit "CPX-CEC project" (Obr. 56).



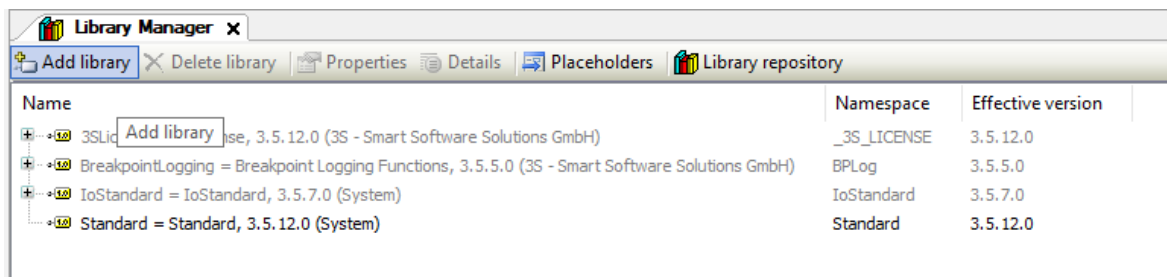
Obr. 56 Volba typu projektu

Poté je v rámci CPX-CEC projektu nutné zvolit, který typ CPX-CEC řídicího modulu je použit a v jakém jazyce IEC 61131-3 bude založen PLC program (PLC_PRG). Pro následující úlohy je zvoleno s ohledem na konfiguraci FMT jako zařízení (tzv. "Device") CPX-CEC-S1-V3. Jazykem doporučeným studentům je strukturovaný text (ST) (Obr. 57). Do projektu lze později přidat i další programové organizační jednotky (POU) zapsané v jiných jazycích.

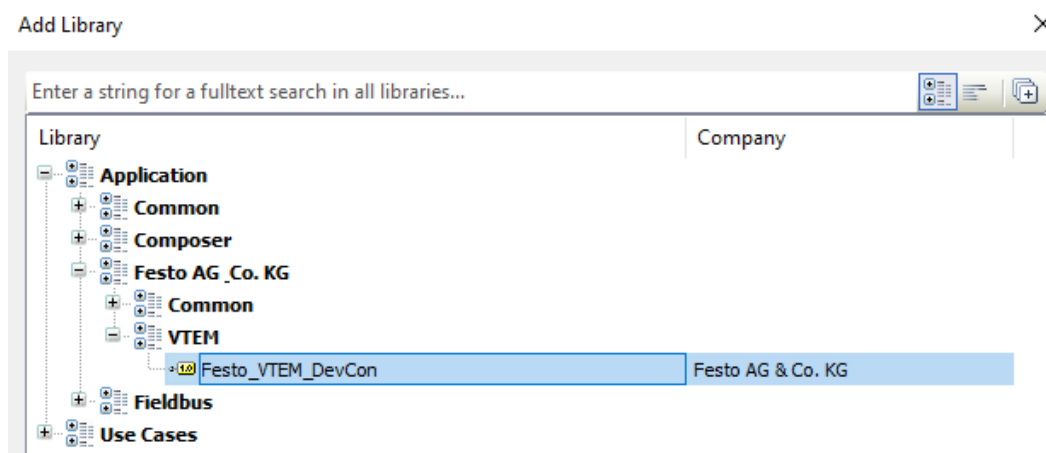


Obr. 57 Volba zařízení a programovacího jazyka základního PLC programu

Po kliknutí na "OK" tlačítko je vytvořen nový projekt. Na levé straně hlavního okna v podokně "Devices" (zařízení) se objeví stromová organizace projektu. V uzlu "Application" (aplikace) jsou automaticky vytvořené položky "Library Manager" (správce knihoven daného projektu), programová jednotka "PLC_PRG" v jazyce ST a "Task Configuration" (konfigurace úlohy). Ve správci knihoven (tzv. "Library Manager") je třeba přidat knihovnu "Festo_VTEM_Devcon", která byla přidána do CODESYS Library Repository (repozitáře knihoven pro dané softwarové prostředí CODESYS) v průběhu instalace. Pro přidání knihovny je v otevřeném správci knihoven (Library Manager) zvoleno přidání knihovny ("Add library") (Obr. 58) a je zvolena daná knihovna (Obr. 59).



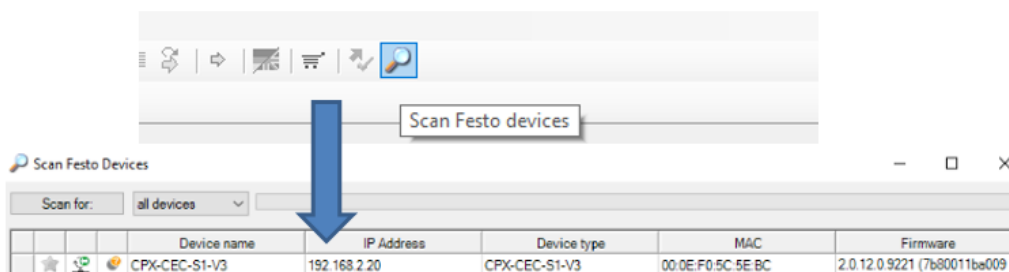
Obr. 58 Správce knihoven (Library Manager) daného projektu



Obr. 59 Vybrání knihovny "Festo_VTEM_Devcon" pro přidání do správce knihoven daného projektu

7.3.2. KOMUNIKAČNÍ NASTAVENÍ - BRÁNA

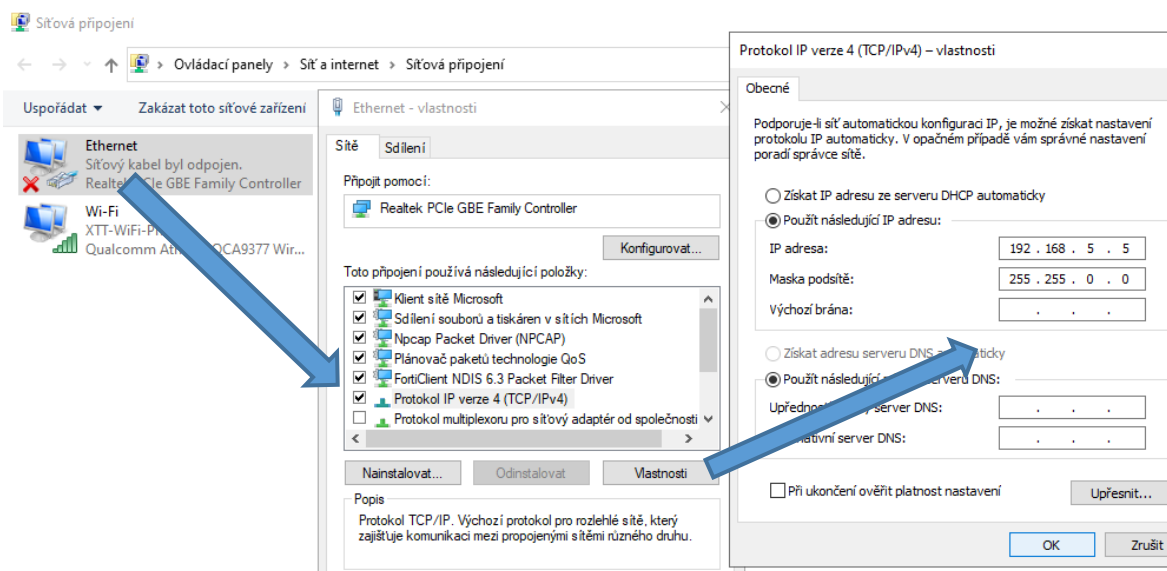
Pro komunikaci mezi PC a CPX řídicím modulem přes Ethernet musí tato dvě zařízení být ve stejné síti. To zajistíme nastavením IPv4 adresy počítače na adresu, která bude korespondovat s adresou síťové části IP adresy CPX. Tuto adresu můžeme zjistit v prostředí CODESYS pomocí ikony "Scan Festo Devices" (Obr. 60).



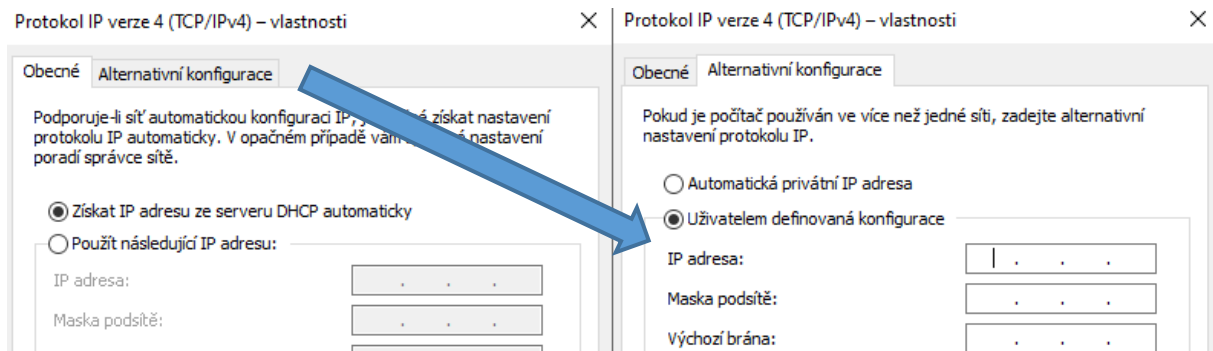
Obr. 60 Zjištění IP adresy CPX modulu v prostředí CODESYS

Na Obr. 60 je vidět, že adresa zařízení CPX-CEC-S1-V3 v laboratoři C1-109 je 192.168.2.20. To znamená, že aby byl počítač ve stejné síti, jeho IP adresa by měla být nastavena na 192.168.x.y, kde jsou x a y čísla libovolná čísla. Pokud je x stejné jako číslo na téže pozici v IP adrese CPX modulu, tak alespoň y musí být odlišné od čísla IP adresy CPX modulu. Masky sítě musí být nastavena na 255.255.0.0.

Pro PC s operačním systémem Windows je možné změnit IP adresu v ovládacím panelu "Síťová připojení" (Obr. 61). Tam se je možné dostat následující cestou: "Start" -> "Nastavení" -> "Síť a internet" -> "Ethernet" -> "Změnit možnosti adaptéru". Pokud je nutné, aby byla počítači dynamicky přidělována IP adresa z DHCP serveru (např. pokud je zapojen ve školní síti), pak je možné použít pro nastavení požadované IP adresy alternativní konfiguraci (Obr. 62).

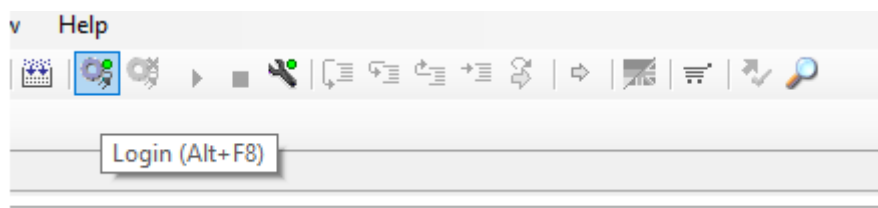


Obr. 61 Změna IP adresy PC s operačním systémem Windows

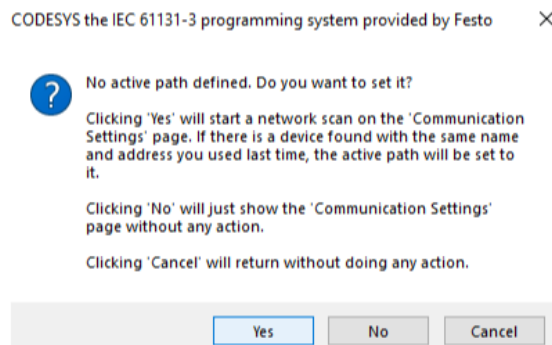


Obr. 62 Použití alternativní konfigurace pro nastavené IP adresy počítače pro komunikaci s CPX

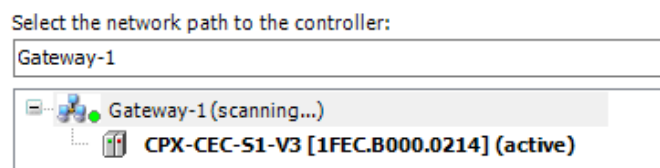
Pro navázání připojení je nutné v softwarovém prostředí CODESYS otevřít nastavení zařízení (Device). To lze provést rozkliknutím "Device" (CPX-CEC-S1-V3) ze stromu projektu. Tím se otevře komunikační nastavení zařízení. Zde lze nahlédnout do vlastností brány (Gateway), brány přidávat, přidávat zařízení atd. Jednodušším postupem pro navázání připojení je kliknutí na ikonu "Login" (Obr. 63). Poté je možné připojení nastavit automaticky (Obr. 64). Po úspěšném připojení je v okně komunikačního nastavení vidět aktivní propojení s CPX-CEC-S1-V3 přes bránu (Gateway) (Obr. 65).



Obr. 63 Pozice ikony Login na horní liště

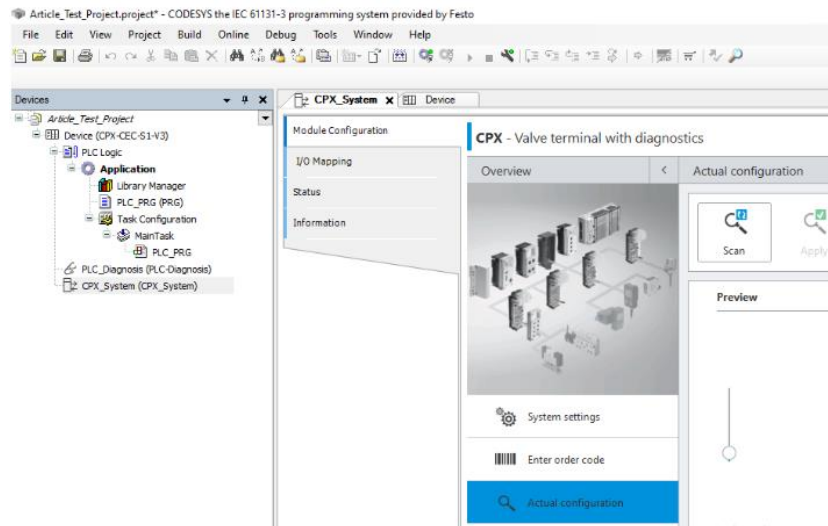


Obr. 64 Dialogové okno dotazující se na automatické provedení prohledávání sítě za účelem automatického navázání komunikace

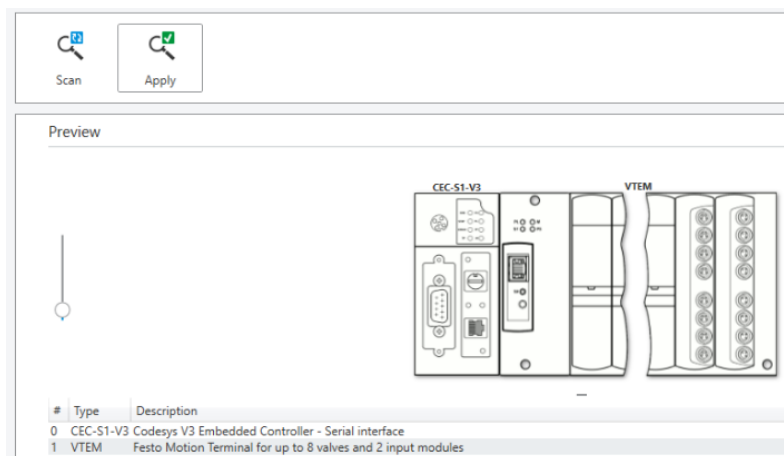


Obr. 65 Komunikace přes bránu

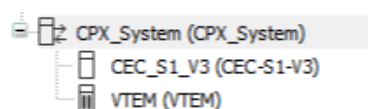
Po provedení tohoto připojení lze načíst konfiguraci CPX systému. Otevřením "CPX_System" ve stromu projektu se zobrazí okno "ModuleConfiguration". Načtení lze provést kliknutím na "Actual configuration" a poté na "Scan" (Obr. 66). Po provedení prohledání sítě a nalezení konfigurace CPX systému se tato konfigurace zobrazí ve spodní straně okna (Obr. 67). Kliknutím na "Apply" se tato konfigurace načte do stromové struktury projektu (Obr. 68).



Obr. 66 Načtení konfigurace CPX systému



Obr. 67 Načtená konfigurace CPX systému



Obr. 68 Přidání konfigurace CPX systému do stromové struktury projektu

7.3.3. HLAVNÍ ČÁSTI PROJEKTU FMT APLIKACE

Aplikace pro FMT, tak jak jsou navrženy v této práci pro výuku studentů, obsahují následující části:

- GVL – Seznam globálních proměnných
- Library Manager – Správce knihoven
- PLC_PRG (PRG) – Hlavní program (zde ST)
- POU (PRG) – Další program (zde
- Task Configuration – Konfigurace úlohy
- Visualization - Vizualizace
- Visualization Manager – Správce vizualizace

Stromové uspořádání projektu s těmito částmi po provedení prozkoumání konfigurace CPX systému je vidět na Obr. 69.

GVL – SEZNAM GLOBÁLNÍCH PROMĚNNÝCH

V seznamu globálních proměnných (GVL) jsou deklarovány proměnné, které jsou používány v různých částech aplikace a tím je vzájemně propojují. V rámci globálních proměnných v aplikaci pro FMT jsou deklarovány zejména proměnné související s funkčním blokem, který zajišťuje komunikaci mezi CPX a VTEM terminálem. Tyto proměnné jsou deklarovány pro každý ventil samostatně a jsou to:

```
V1_ValveControl : FestoVTEMdc.FB_ValveControl ;  
V1_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0..2] OF WORD ;  
V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0..2] OF WORD ;  
V1_ActualValveMode : INT ;  
V1_Enable : BOOL ;  
V1_Mode : BYTE ;  
V1_AppC : BYTE ;  
V1_AppO : BYTE ;  
V1_Set1 : INT ;  
V1_Set2 : INT ;  
V1_AV1 : INT ;  
V1_AV2 : INT ;
```

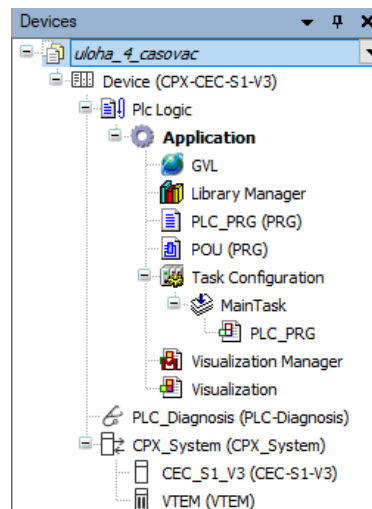
Dále je v globálních proměnných deklarována poloha otočného spínače na CPX-CEC-S1-V3 modulu:

```
Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;
```

Deklarujeme zde i proměnnou pro manuální přijetí chybového hlášení (Manual Error Acknowledgement), která je společná pro všechny ventily.

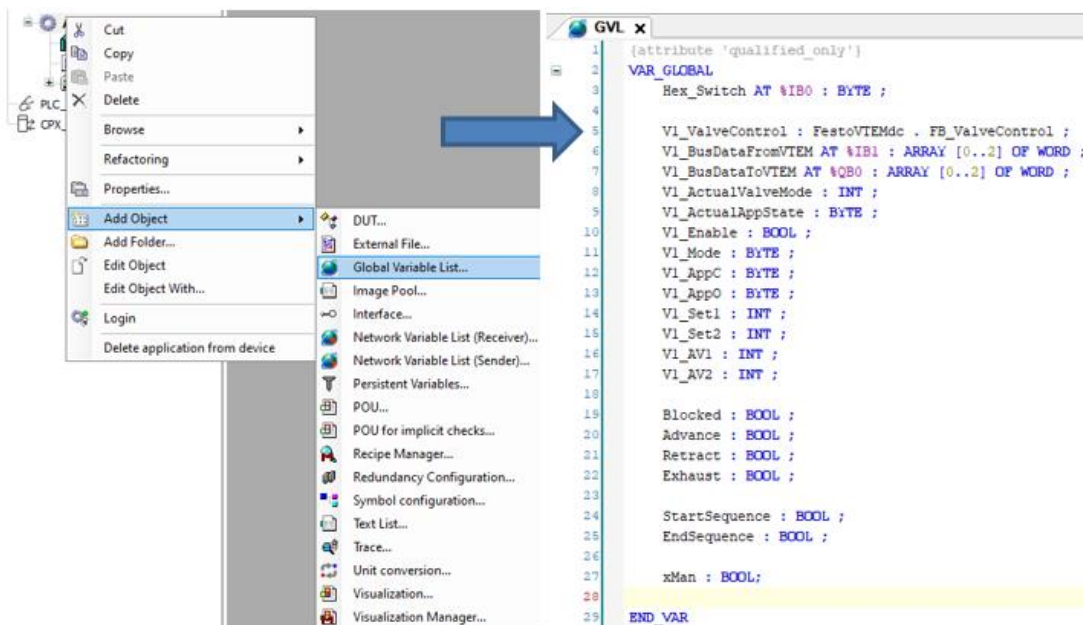
```
xMan : BOOL ;
```

Mohou zde být deklarovány i další proměnné, např. ty, které jsou použity v PLC_PRG (PRG) a také ve vizualizaci. Není to ale nutné, protože z vizualizace lze ovládat a načítat i lokální proměnné. Příklad deklarace globálních proměnných je na Obr. 70.



Obr. 69 Stromová struktura výukového projektu

Do aplikace musí být GVL vložen a to pravým kliknutím na aplikaci (Application) ve stromové struktuře projektu, vybráním "Add Object" a dalším vybráním "Global Variable List", jak je naznačeno na Obr. 70.



Obr. 70 Přidání GVL do struktury aplikace a příklad GVL s deklarací proměnných

LIBRARY MANAGER – SPRÁVCE KNIHOVEN

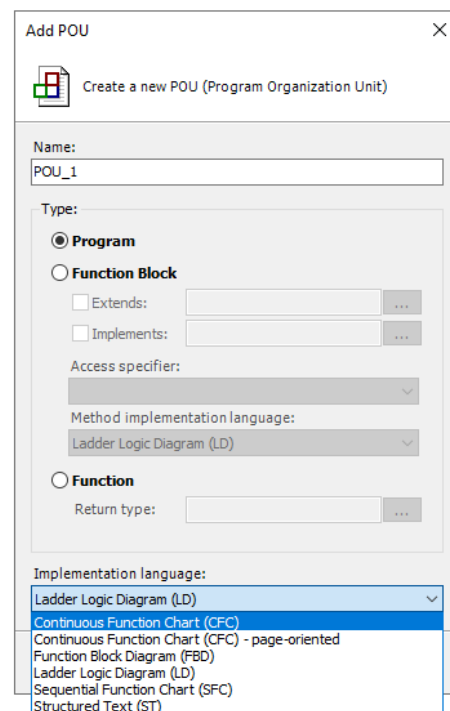
Ve správci knihoven jsou spravovány knihovny projektu. Pomocí tohoto správce jsou jednotlivé knihovny přidávány do projektu z repozitáře knihoven (tzv. "Library repository"), tento proces je již popsán v kapitole 7.2.1. Založení projektu pro FMT aplikaci.

PLC PRG (PRG) – HLAVNÍ PROGRAM APLIKACE

V hlavním programu aplikace je popsána její funkce. Zde se vytváří ve strukturovaném jazyce (ST) kód. Tvorba tohoto programu je hlavní kreativní programátorskou činností v didaktických úlohách.

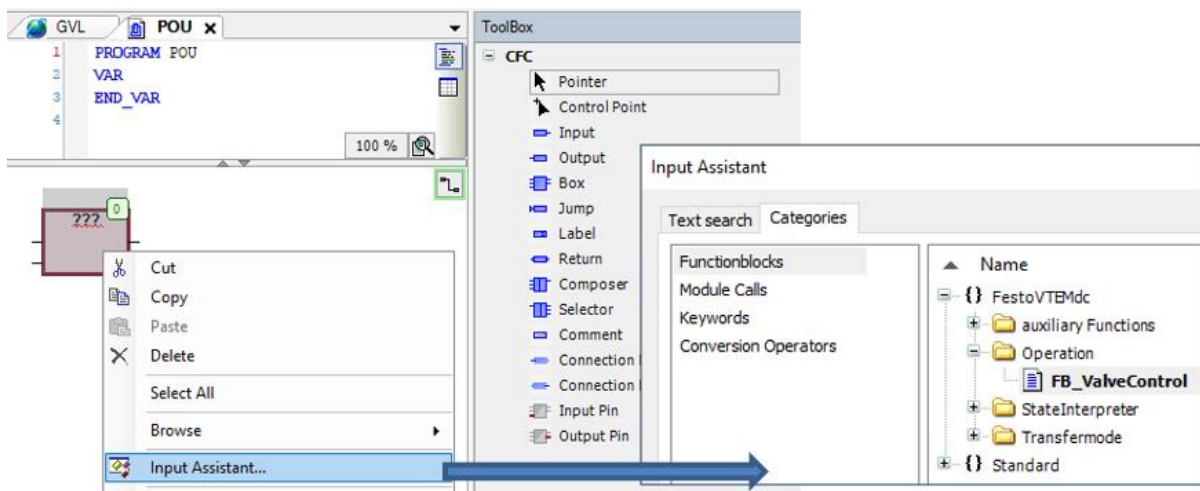
POU (PRG) – DALŠÍ PROGRAM

Vložení další programové organizační jednotky (POU) je provedeno stejně jako vložení GVL pouze s tím, že je místo GVL vybrána POU. Dále je třeba vybrat jeden ze tří základních typů POU (program, funkční blok a funkce) a také vybrat programovací jazyk pro její implementaci (Obr. 71). Tento pro VTEM velmi důležitý program je vytvářen v jazyce CFC (Continuous Function Chart), což je programovací jazyk podobný jazyku funkčních bloků FBD, který ale není zakotvený ve standardu IEC 61131-3.



Obr. 71 Vložení nové POU

V tomto programu jsou implementovány “funkční bloky ventilů”, které musí být použity pro správnou funkci Motion Apps. K formálním parametrům definovaným uvnitř bloku jsou připojeny skutečné parametry pomocí globálních proměnných, s nimiž pracujeme. Jak vložit do programu předdefinovaný funkční blok tzv. “FB_ValveControl”, který je připraven speciálně pro řízení VTEM, je naznačeno na Obr. 72. Po vytvoření CFC POU je na pravé straně okno nástrojů (tzv. “ToolBox”). Pro vložení je nejprve přetažen “Box” z nabídky “ToolBox” do dolního okna (výkonové části) POU. Poté je pravým tlačítkem vyvolána nabídka a vybrán tzv. “Input Assistant”, což je nástroj pro snadné vkládání programových elementů. Pomocí nástroje Input Assistant je poté vybrán ze složky “Operation” funkční blok FB_ValveControl. Po kliknutí na daný funkční blok se také v dolní části okna Input Assistant objeví dokumentace k danému bloku, a to krátký popis funkce bloku a pak tabulka s popisem vstupních a výstupních proměnných (Obr. 73).



Obr. 72 Vložení předpřipraveného bloku FB_ValveControl pomocí Input Assistant

Show documentation Insert with arguments Insert with namespace prefix

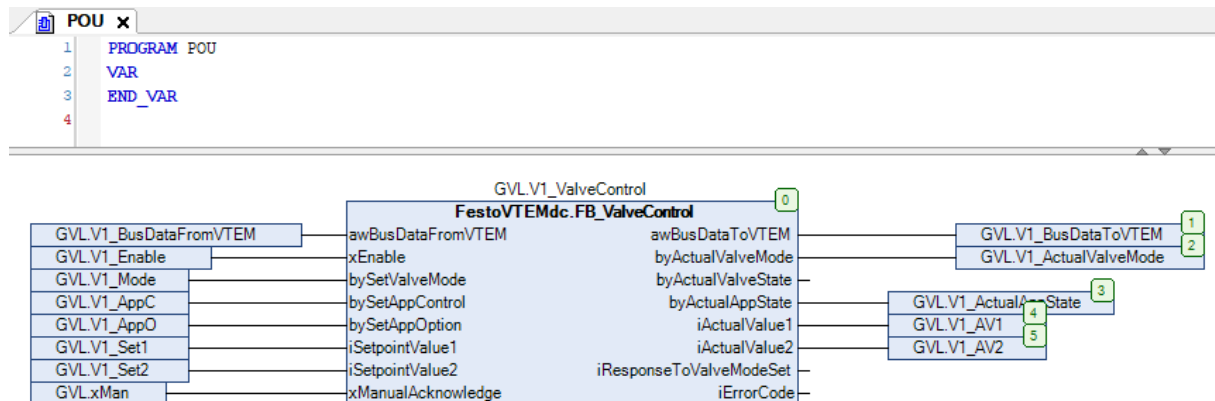
Documentation:

This is the central function block for the operation of Motion Apps on a valve. The FB serves to operate all Motion Apps with their specific setpoint values. It is able to execute and to stop Motion Apps and to deal with occurring errors. Parameterisation is not possible with this function block.

Parameter Name	Data Type	Direction	Description
awBusDataFromVTEM	ARRAY [0..2] OF WORD	VAR_INPUT	6 bytes of process data that is received from the Motion Terminal
xEnable	BOOL	VAR_INPUT	has to be set to TRUE in order to operate a Motion App on the valve, otherwise any motion is stopped
bySetValveMode	BYTE	VAR_INPUT	ID of the Motion App to be executed, '60 for 'commissioning', '61 for 'stop', '62 for 'acknowledge'
bySetAppControl	BYTE	VAR_INPUT	SetAppControl of the chosen bySetMode, see documentation of the valve mode for its meaning
bySetAppOption	BYTE	VAR_INPUT	SetAppOption of the chosen bySetMode, see documentation of the valve mode for its meaning
iSetpointValue1	INT	VAR_INPUT	SetPoint1 of the chosen bySetMode, see documentation of the valve mode for its meaning
iSetpointValue2	INT	VAR_INPUT	SetPoint2 of the chosen bySetMode, see documentation of the valve mode for its meaning
xManualAcknowledge	BOOL	VAR_INPUT	errors can be acknowledged (after they got inactive) with a rising edge at this input
awBusDataToVTEM	ARRAY [0..2] OF WORD	VAR_OUTPUT	6 bytes of process data that is sent to the Motion Terminal
byActualValveMode	BYTE	VAR_OUTPUT	actual valve mode of the Motion Terminal
byActualValveState	BYTE	VAR_OUTPUT	actual valve state of the Motion Terminal
byActualAppState	BYTE	VAR_OUTPUT	Byte1 of the received process data: app state of the desired Motion App, see documentation of the valve mode for its meaning
iActualValue1	INT	VAR_OUTPUT	ActualValue1 of the desired Motion App, see documentation of the valve mode for its meaning
iActualValue2	INT	VAR_OUTPUT	ActualValue2 of the desired Motion App, see documentation of the valve mode for its meaning
iResponseToValveModeSet	eResponseToValveModeSet	VAR_OUTPUT	enumeration that indicates the status of execution of the desired valve mode
iErrorCode	INT	VAR_OUTPUT	contains the malfunction code of the latest error, 0 if no error occurred so far

Obr. 73 Dokumentace k bloku FB_ValveControl v okně nástroje Input Assistant

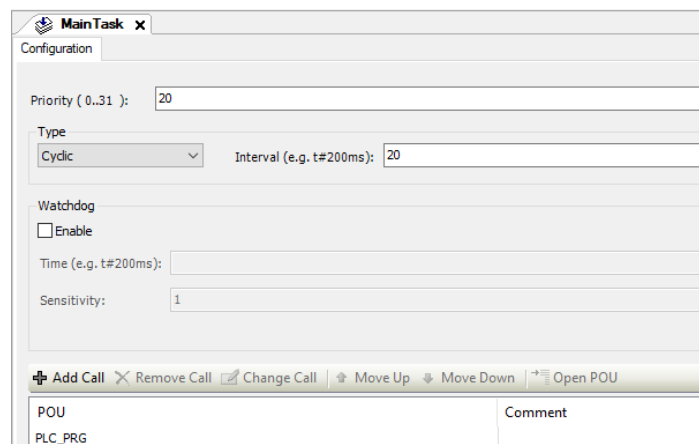
Na Obr. 74 je vidět implementace funkčního bloku FB_ValveControl, na jehož vstupy a výstupy jsou vázány prvky, které čtou či zapisují hodnoty z nebo do globálních proměnných. Každý aplikací používaný ventil musí mít svůj vlastní funkční blok.



Obr. 74 Zapojený funkční blok FB_ValveControl

TASK CONFIGURATION – KONFIGURACE ÚLOH

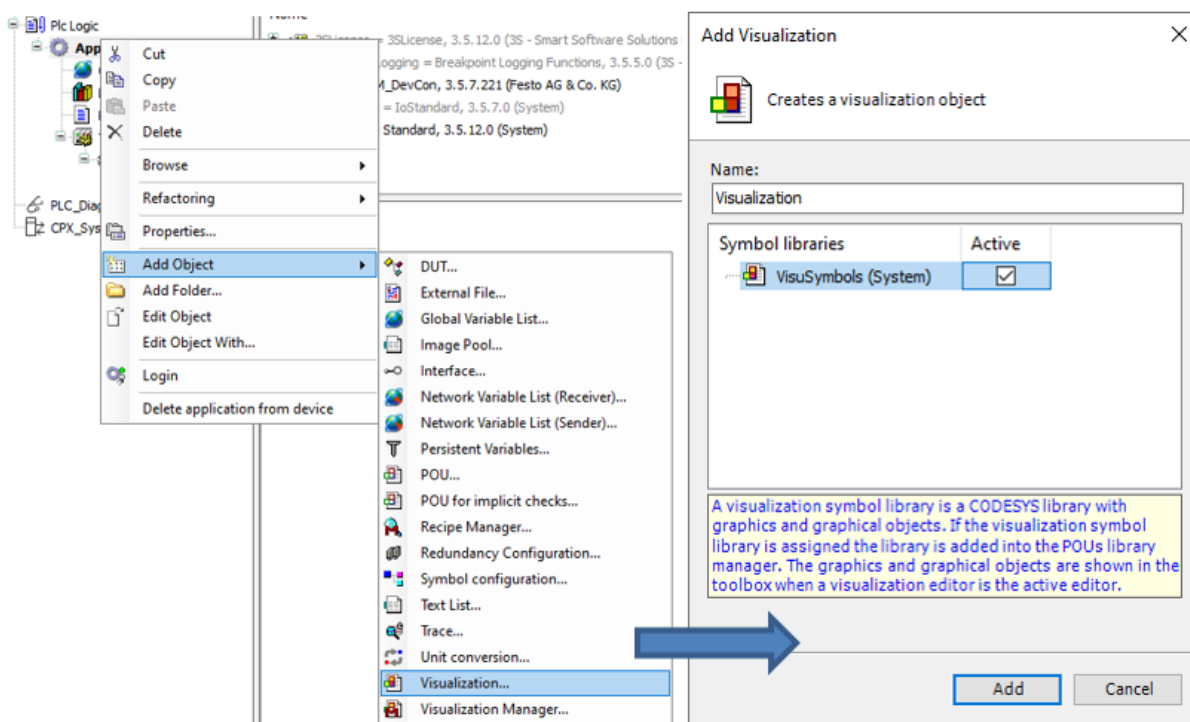
Konfigurace úloh defaultně obsahuje hlavní úlohu (tzv. “MainTask”), která volá hlavní program PLC_PRG. Hlavní úloha řídí zpracování programu PLC_PRG. Pro potřeby didaktických úloh prezentovaných v této práci může zůstat hlavní úloha nastavena defaultně a není třeba přidávat volání dalších jednotek. Podle defaultního nastavení hlavní úlohy (Obr. 75) je program PLC_PRG vykonáván cyklicky každých 20 ms.



Obr. 75 Nastavení hlavní úlohy

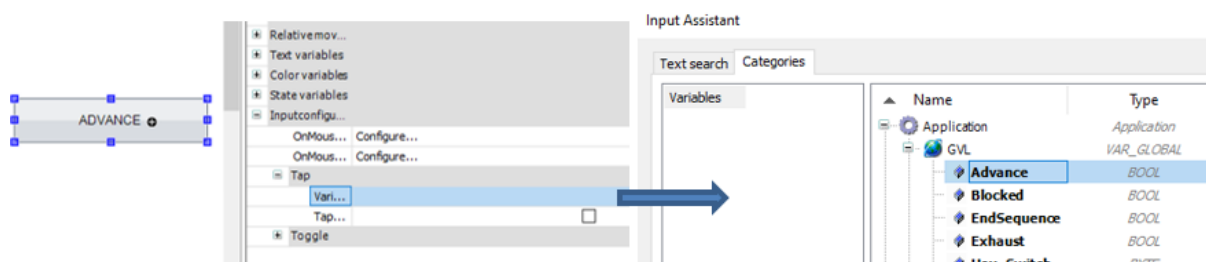
VISUALIZATION – VIZUALIZACE

Vzhledem k tomu, že k FMT není připojený žádný fyzický ovládací panel, je k ovládní použita vizualizace v softwarovém prostředí CODESYS. Přidání vizualizace do struktury aplikace je provedeno pravým kliknutím, vybráním “Add Object” a poté vybráním “Visualization”, jak je ukázáno na Obr. 76. Ve vizualizaci je vizualizační okno na levé straně a okno nástrojů ToolBox na pravé straně obrazovky. Na spodní straně okna ToolBox lze přepínat mezi ním a oknem vlastností prvků (tzv. “Properties”), ve kterém se zobrazují vlastnosti právě aktivního prvku. Pro didaktické úlohy jsou z elementů ToolBoxu využita hlavně tlačítka (Button) a popisky (Label), které jsou v záložce Common controls. Další prvky, které jsou použity v řešených úlohách jsou posuvníky (Slider), zaškrťovací políčko (Checkbox) a element zobrazení hodnoty na liště (BarDisplayImage).



Obr. 76 Přidání vizualizace do struktury aplikace

Velmi důležitou funkcí vizualizačních elementů je jejich provázání s proměnnou. Toto provázání se provádí v okně vlastností elementu a to buď vlastností (Property) "proměnná" (Variable) nebo vlastností "hodnota" (Value). V případě tlačítka je vlastnost "proměnná" ukrytá ve složce tzv. "InputConfiguration" (konfigurace vstupů) a podsložce "Tap" (kliknutím se proměnná nastaví jako TRUE) nebo "Toggle" (kliknutím se hodnota proměnné přepíná mezi TRUE a FALSE). U tlačítek existuje více typů propojení s proměnnou, ale tyto dva uvedené jsou základní. Zadání proměnné, se kterou se element váže, je možné provést dvěma způsoby, a to vepsáním nebo pomocí okna Input Assistant. Input Assistant otevřeme tak, že dvakrát klikneme na pole, do kterého má být proměnná zapsána. Následně se na pravém okraji pole objeví box se třemi tečkami. Kliknutím na tento box se otevře Input Assistant (Obr. 77). Případně lze též Input Assistant otevřít pravým kliknutím na pole, když je v módu zápisu.



Obr. 77 Provázání tlačítka s proměnnou pomocí Input Assistant

VISUALIZATION MANAGER – SPRÁVCE VIZUALIZACÍ

Správce vizualizací je automaticky přidán do struktury aplikace poté, co je do ní přidána vizualizace. Ve správci vizualizací lze nastavit různé vizualizační styly, jazykovou preferenci a další parametry. Pro didaktické úlohy není nutné správce vizualizací využít.

8. DIDAKTICKÉ ÚLOHY

8.1. ÚLOHA 1 : WEBOVÝ INTERFACE FMT

Úloha 1 je prvním seznámením studentů s ventilovým terminálem Festo Motion Terminal. Cílem této úlohy je naučit studenty provést fyzické zapojení terminálu do elektrické, komunikační a pneumatické sítě. Dále se studenti seznámí s webovým rozhraním WebConfig. V tomto intuitivním prostředí si vyzkouší některé aplikace MotionApps.

8.1.1. ZADÁNÍ ÚLOHY

- 1) Prostudujte kapitolu 3.1.2. této práce o univerzálním ventilu VEVN a jeho funkci.
- 2) Proveďte zapojení FMT dle návodu uvedeného v kapitole 8.1.3. této práce.
- 3) Propojte PC s CTMM-S1-C (ovladačem terminálu) pomocí ethernetového síťového kabelu a přihlaste se do webového rozhraní WebConfig dle návodu v kapitole 8.1.3. této práce.
- 4) V rozhraní WebConfig prostudujte možnosti jednotlivých aplikací MotionApps v záložce "Function description".
- 5) Vyzkoušejte si Motion App č. 1 - Directional control valve function (Funkce spínacích ventilů). Přepněte chování ventilu na ventil "4/3 B" z nabídky a proveďte zkušební provoz pro všechny možné stavy App control.
- 6) Vyzkoušejte si Motion App č. 5 - Supply and exhaust flow control (Škracení přívodu a odvětrání). Nastavte různé hodnoty škracení a sledujte, jak je tím ovlivněna rychlost vyjetí/zajetí pístu.
- 7) Vyzkoušejte si Motion App č. 12 - Leakage diagnostics (Diagnostika úniků). Proveďte referenční pohyby pro diagnostiku úniků vzduchu při daném zapojení.

8.1.2. DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE

Instrumentace k úlohám je podrobně popsána v kapitole 7.1. Instrumentace pro úlohy této práce. Dále je již uveden zkrácený seznam počtu kusů potřebných pro danou úlohu.

- instrumentace na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT
 - 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) napojený na rozvod vzduchu v laboratoři C1-109
 - 1 x držák modulů Learntop-L (rampa) pro profilovou desku
 - 1 x profilová deska pro upevnění komponent
 - 1 x napájecí modul EduTrainer®
- 1 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor
- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H
- 1 x napájecí kabel pro FMT
- 1 x počítač nebo notebook
- 1 x síťový ethernetový propojovací kabel
- 1 x záslepka QSC-10H
- vzduchové hadice různých rozměrů a pneumatické armatury typu hadice-hadice pro pneumatické propojení komponentů
 - 1 x 10mm hadice, 2 x 8mm hadice, 3 x 6mm hadice, 2 x 4mm hadice, 1 x QS-10-6, 2 x QS-8-6, 2 x QS-6-4

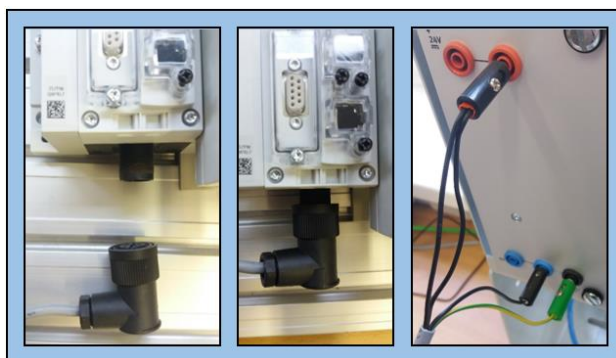
8.1.3. NÁVOD

ZAPOJENÍ FMT

Zapojení jednotlivých prvků můžeme rozdělit dle typu na elektrické, komunikační a pneumatické. Zapojování elektrických a pneumatických rozvodů je prováděno za vypnutého stavu příslušných zdrojů.

Elektrické zapojení

Elektrické zapojení je nutné provést dle Obr. 78. Napájecím kabelem je propojen řídicí modul CPX a napájecí modul EduTrainer®. Šroubovací konektor (NTSD-WD-P), který propojuje napájecí kabel s CPX modulem, nelze a není třeba šroubovat až do konce závitu. K napájecímu modulu EduTrainer® je napájecí kabel připojen pomocí banánků.



Obr. 78 Zapojení elektrického napájení FMT

Komunikační zapojení

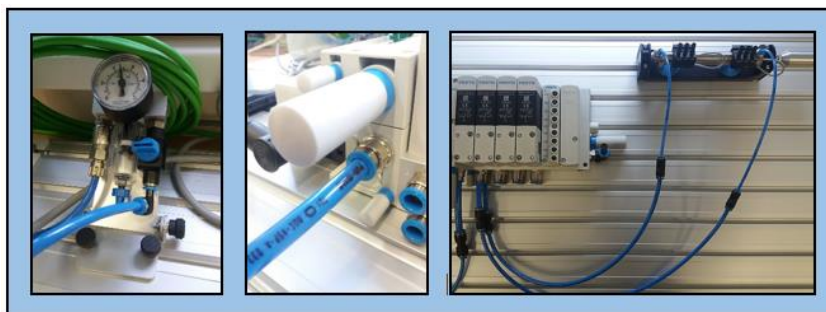
Pro komunikační propojení počítače a FMT (CTMM ovladače) ethernetovým kabelem je třeba nejprve odšroubovat plastovou krytku ethernetového portu na modulu CTMM-S1-C. (Obr. 79).



Obr. 79 Ethernetový port na CTMM-S1-C ovladači

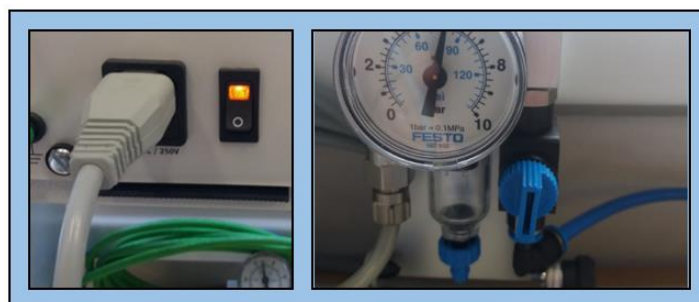
Pneumatické zapojení

Je třeba pneumaticky propojit jednotku úpravy vzduchu s přívodním portem FMT, který se nachází na modulu CTMM-S1-C. Po aretování pneumatického válce na pracovní desce je provedeno propojení pneumatického válce s porty první ventilové pozice. Toto propojení je realizováno proti normální konvenci. Port pneumatického válce, na němž přívod tlaku způsobuje vyjetí, je spojen s portem 4. A port 2 ventilové pozice je připojen na port válce, který, pokud je jím přiváděn vzduch, způsobuje zajetí pístu. Záslepkou QSC-10H je zaslepen port 1 přívodu vzduchu umístěný na pravé straně terminálu.



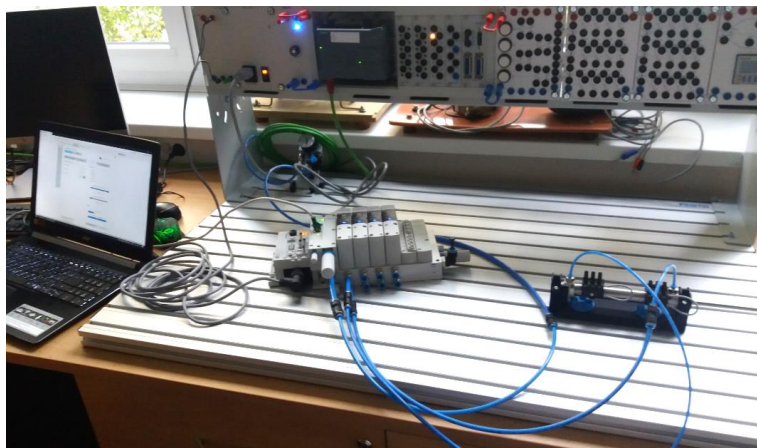
Obr. 80 Pneumatické propojení prvků

Po provedení těchto propojení je zapnuto elektrické napájení na modulu napájení EduTrainer® a je otevřen ventil na jednotce úpravy vzduchu.



Obr. 81 Zapnutí zdrojů energií

Celkový pohled na zapojení FMT pro práci s webovým rozhraním WebConfig na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT je na Obr. 82.



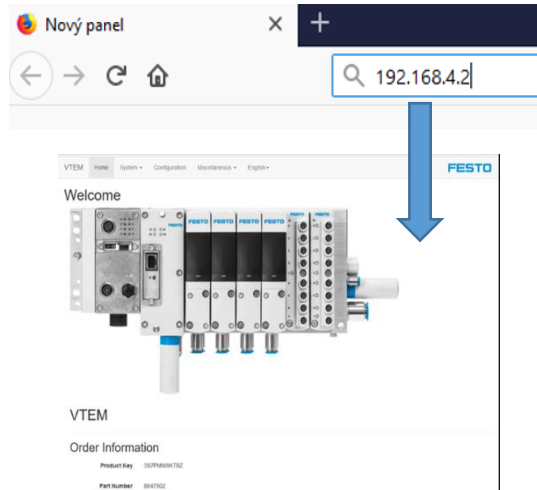
Obr. 82 Celkový pohled na zapojení na pracovišti v lab. C1-109

INTERNETOVÉ ROZHRANÍ WEBCONFIG

Pro komunikaci mezi PC a VTEM (CTMM-S1-C) je stejně jako pro komunikaci mezi PC a řídicím blokem CPX nutné, aby se zařízení nacházela ve stejné síti. Proto je třeba nastavit IP adresu počítače tak, jak je to popsáno v kapitole 7.3.2. této práce. Pro CTMM ovladač jsou tovární hodnoty nastavení:

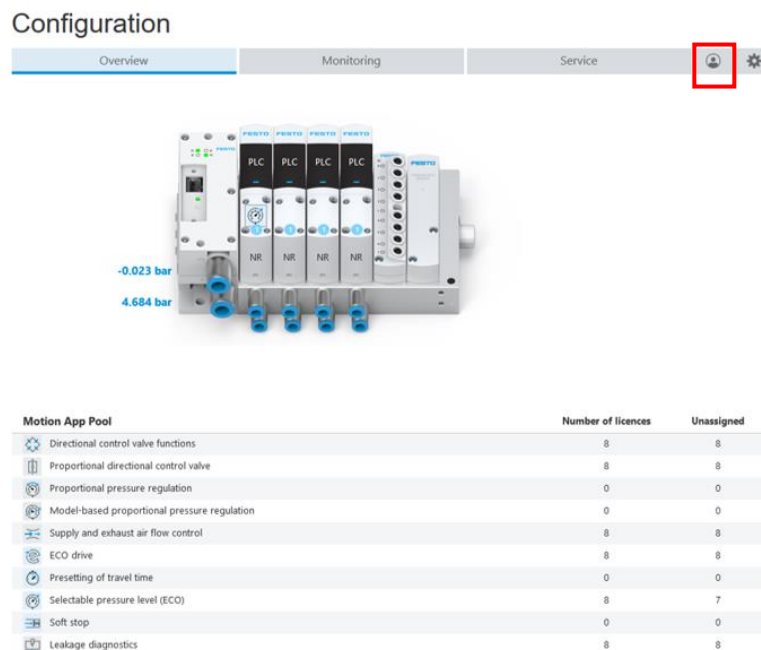
IP adresa:	192.168.4.2
Maska sítě:	255.255.0.0
Heslo:	vtem

Pro práci s webovým rozhraním je třeba se do něj přihlásit. To lze provést v internetovém prohlížeči (doporučený je prohlížeč Mozilla Firefox). Otevřeme nové okno a do adresového řádku zadáme adresu 192.168.4.2. Tímto se spojíme s webovým rozhraním FMT (Obr. 83).



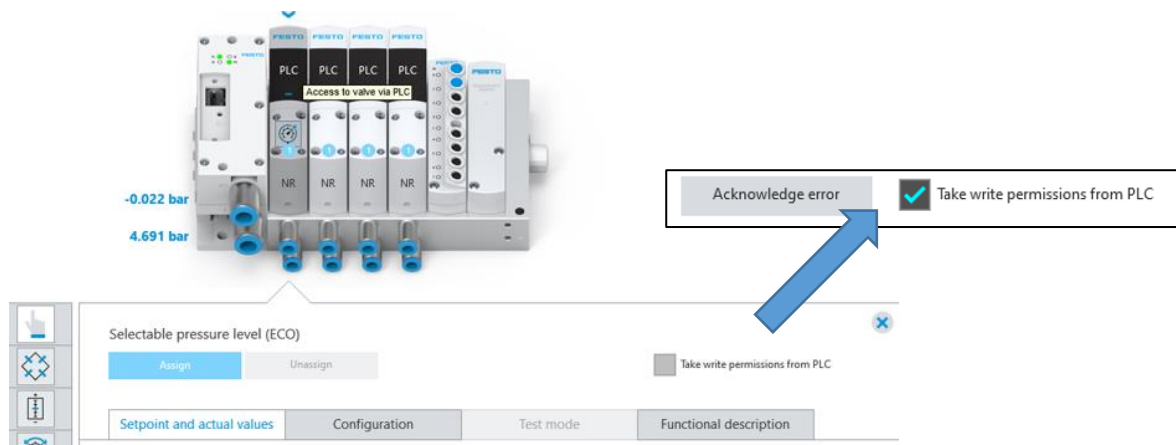
Obr. 83 Přístup do webového rozhraní

Dále je třeba zvolit záložku "Configuration" (konfigurace). Protože v záložce konfigurace je možné provádět zkušební provoz válců, objeví se varování, které říká, že při změně nastavení může dojít k nebezpečným pohybům válce. Poté je již načteno konfigurační okno s grafickou reprezentací terminálu a přehledem licencí aplikací Motion Apps (Obr. 84). Pro provádění změn parametrů je třeba se přihlásit heslem po kliknutí na ikonu uživatele.



Obr. 84 Okno "Configuration" (konfigurace)

Nyní je možné pracovat s jednotlivými aplikacemi Motion Apps a ventily VEVM. Kliknutím na daný ventil VEVM je ventil označen jako ventil, se kterým pracujeme. Jak je vidět na Obr. 85, ventily jsou ve stavu "ovládání pomocí PLC". Pro práci s ventilem v prostředí WebConfig musíme zaškrtnout box "Take write permission from PLC" a v případě, že se objeví, potvrdit kliknutím na tlačítko "Acknowledge error" přijetí chybové hlášky.



Obr. 85 Převzetí řízení ventilu od PLC

Po provedení tohoto úkonu se na ventilu objeví nápis Web značící ovládání přes webové rozhraní WebConfig. Dále se změní stav ventilu z NR (not ready), kdy nelze ventil konfigurovat, na C (configurable), kdy je ventil připravený ke konfiguraci (Obr. 86).



Obr. 86 Ventil je připraven pro konfiguraci z webového rozhraní

Kliknutím na jednotlivé ikony aplikací Motion Apps na levé straně mezi nimi přepínáme. Pokud chceme zvolenou aplikaci přiřadit ventilu, musíme kliknout na tlačítko "Assign", pokud ji chceme naopak odebrat, tak na "Unassign" (Obr. 87). S aplikací je možné pracovat, pouze pokud je přiřazená ventilu.



Obr. 87 Tlačítka pro přidělení a odebrání aplikace Motion App danému ventilu

V rámci jednotlivých aplikací Motion Apps jsou přístupné 4 záložky. Záložka "Setpoint and actual values" slouží k porovnání nastavených a dosažených hodnot. V záložce "Function description" je krátký popis dané aplikace. Záložka "Configuration" slouží k načítání konfigurací, případně návratu do defaultní konfigurace. Nejdůležitější záložkou je záložka "Test mode", ve které se volí tzv. "App control" (parametr řízení aplikace) a nastavují se tam další parametry, jako např. procento otevření přívodu vzduchu. V této záložce jsou také ovládány pohyby aktuátorů dle nastavených parametrů. Nastavené parametry aplikace jsou aplikovány kliknutím na tlačítko "Start test run". Pro ukončení zkušebního provozu je třeba kliknout na tlačítko "Stop test run". Příklady rozložení záložky "Configuration" a záložky "Test mode" pro Motion App č. 12 – Leakage Diagnostics (Diagnostika úniků) jsou na Obr. 88 a Obr. 89. Pro správnou funkci Motion App musí být pravdivě vyplněny parametry aplikace a parametry systému v záložce "Configuration".

Obr. 88 "Záložka "Configuration" aplikace Leakage diagnostics

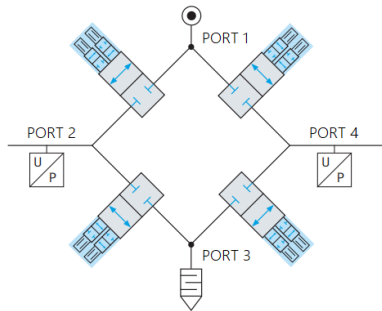
Obr. 89 Záložka "Test mode" Motion App č.12 - Leakage diagnostics (Diagnostika úniků)

8.1.4. KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Otázka 1:

Nakreslete a popište můstkové schéma univerzálního ventilu VEVM

Odpověď 1:



Obr. 90 Můstkové uspořádání ventilu VEVM [23]

PORT 1 = přívod vzduchu
PORTY 2 a 4 = pracovní porty
PORT 3 = odvětrání

Jedná se o zapojení čtyř 2/2 proporcionálních sedlových ventilů.

Proporcionální nepřímé řízení pomocí piezoventilů.

Otázka 2:

Jaká je IP adresa VTEM ovladače (CTMM-S1-C) a maska této IP adresy v továrním nastavení?

Odpověď 2:

IP adresa: 192.168.4.2
Maska sítě: 255.255.0.0

Otázka 3:

Proč pístnice pneumatického válce vyjíždí v případě, že je na oba porty přiváděn stejný tlak?

Odpověď 3:

Na straně s pístnicí je plocha, na kterou tlak působí zmenšena o průřez pístnice. Tlaková síla, která je definovaná součinem působícího tlaku a plochy, na niž působí, je tedy menší na straně pístnice.

Otázka 4:

Popište funkci Motion App č. 12 - Leakage diagnostics (Diagnostika úniků), k čemu může být využívána?

Odpověď 4:

Aplikace pomáhá v detekci netěsností objemu (např. hadic, komor aktuátoru), který je připojen k portům VEVM ventilu. Při uvedení zařízení do provozu se provede referenční diagnostika a s jejími výsledky jsou pak porovnány další diagnostiky. Pokud rozdíl mezi referenční a jinou diagnostikou překročí limit, je na to uživatel upozorněn. Tato aplikace je vhodná pro preventivní údržbu.

8.2. ÚLOHA 2 : MANUÁLNÍ OVLÁDÁNÍ PNEUMATICKÉHO AKTUÁTORU

Úloha 2 navazuje na Úlohu 1 tím, že fyzické zapojení úlohy je až na propojení ethernetovým kabelem totožné. Úloha 2 je první úlohou využívající vývojové prostředí CODESYS, proto je velmi jednoduchá, co do vytvoření programu PLC_PRG v jazyku ST. Student si má hlavně ověřit znalosti z kapitol 7.2. a 7.3. této práce, tj. vytvořit všechny nezbytné části aplikace a navázat úspěšně komunikaci s CPX modulem.

8.2.1. ZADÁNÍ ÚLOHY

- 1) Prostudujte kapitoly 3.2.5., 7.2. a 7.3. této práce.
- 2) Pokud není na PC/notebooku nainstalováno softwarové vývojové prostředí CODESYS vhodné pro ovládání FMT, pak ho nainstalujte dle postupu v kapitole 7.2. této práce.
- 3) Proveďte fyzické sestavení úlohy (Obr. 91) obdobně jako v úloze 1. Jediným rozdílem je, že ethernetový síťový kabel má nyní propojovat PC a CPX řídicí modul.
- 4) Založte nový projekt pro CPX-CEC a proveďte jeho přípravu pro použití pro programování aplikace pro FMT tak, jak je uvedeno v kapitole 7.3. této práce.
- 5) V jazyku ST naprogramujte program PLC_PRG a vytvořte vizualizaci, které dohromady umožní manuální ovládání pneumatického válce. Pro programování využijte informace z návodu v kapitole 8.2.3. této práce. Ovládání pneumatického válce by mělo umožňovat vyjetí a zjetí pístu, odvětrání obou portů a blokování obou portů. Pro ovládání z vizualizace slouží tlačítka. Pro ovládání použijte Motion App č. 5 - Supply and exhaust air flow control (Škracení přívodu a odvětrání).
- 6) V návodu v kapitole 8.2.3. této práce nastudujte a v programu použijte podmínky, které slouží k automatickému potvrzení chybových hlášek, k tzv. "Error Acknowledgement".

8.2.2. DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE

Instrumentace k úlohám je podrobně popsána v kapitole 7.1 Instrumentace pro úlohy této práce. Dále je již uveden zkrácený seznam počtu kusů potřebných pro danou úlohu.

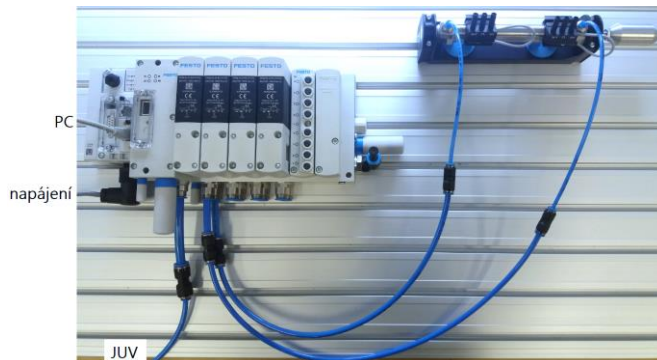
- instrumentace na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT
 - 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) napojený na rozvod vzduchu v laboratoři C1-109
 - 1 x držák modulů Learntop-L (rampa) pro profilovou desku
 - 1 x profilová deska pro upevnění komponent
 - 1 x napájecí modul EduTrainer®
- 1 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor
- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H
- 1 x napájecí kabel pro FMT
- 1 x počítač nebo notebook
- 1 x síťový ethernetový propojovací kabel
- 1 x záslepka QSC-10H
- vzduchové hadice různých rozměrů a pneumatické armatury typu hadice-hadice pro pneumatické propojení komponentů
 - 1 x 10mm hadice, 2 x 8mm hadice, 3 x 6mm hadice, 2 x 4mm hadice, 1 x QS-10-6, 2 x QS-8-6, 2 x QS-6-4

8.2.3. NÁVOD – ŘEŠENÍ

NÁVOD

Fyzické zapojení pro Úlohu 2:

Zapojení FMT by mělo být provedeno tak, jak je vidět na Obr. 91.



Obr. 91 Zapojení FMT pro Úlohu 1

Základní znalosti programování v jazyku ST v prostředí CODESYS pro FMT aplikaci:

Níže jsou uvedeny základní poznatky z programování v jazyce ST v prostředí CODESYS potřebné pro realizaci této úlohy. Pro další obecné informace ohledně programování v softwarovém prostředí CODESYS je možné použít webovou stránku <https://help.codesys.com/>, kde lze vyhledávat pojmy.

1) Příkazy jsou vždy zakončeny středníkem.

2) Deklarace proměnné:

Základním tvarem deklaráce proměnné je:

identifikátor proměnné : typ proměnné ;

př.:

V1_Enable : BOOL ;

V rámci deklaráce může být proměnné přiřazena počáteční hodnota. Všem proměnným, kterým není v rámci deklaráce přiřazena specifická počáteční hodnota, je přiřazena defaultní počáteční hodnota, a to 0 pro číselné a logické proměnné a hodnota "prázdný string" pro proměnné typu string.

Další možností je přiřazení deklarované proměnné k určité přímé proměnné (např. adrese). Toto je provedeno pomocí klíčového slova AT.

Tvar deklaráce proměnné, která má přiřazenou I/O adresu a také specifickou počáteční hodnotu je:

identifikátor proměnné AT adresa : typ proměnné := počáteční hodnota ;

př., kde je proměnná přiřazena k určité přímé proměnné, bez určení počáteční hodnoty:

Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;

př., kde je proměnné přiřazena počáteční hodnota:

xMan : BOOL := FALSE ;

3) *Přiřazení hodnoty již deklarované proměnné:*

identifikátor proměnné := hodnota proměnné ;

4) *Podmínka IF:*

Řídicí struktura IF je používána pro větvení programu, kdy je kontrolováno splnění logické podmínky. Pokud je podmínka splněna, jsou vykonány příkazy v části po THEN, pokud podmínka není splněna, jsou vykonány příkazy v části po ELSE. Řídicí struktura IF nemusí obsahovat část ELSE a jí náležející příkazy.

Řídicí struktura IF je realizována následujícím způsobem:

```
IF logická podmínka THEN
    příkaz1 ;
    příkaz2 ;
ELSE
    příkaz3 ;
    příkaz4 ;
END_IF
```

5) *Příkaz CASE:*

Další řídicí strukturou pro větvení je struktura CASE. V CASE je porovnávána hodnota jedné "řídicí" proměnné s jednotlivými hodnotami. Pokud je hodnota "řídicí" proměnné shodná s danou předem definovanou hodnotou, jsou vykonány příkazy, které k této hodnotě náleží. Pokud v rámci příkazů, které jsou vykonány při dané hodnotě řídicí proměnné, provedeme změnu této proměnné, lze použít strukturu CASE jako nástroj pro vytvoření jednotlivých kroků a vazeb mezi nimi. Toto je vhodné využít zejména pro sekvenční úlohy. Kombinační úlohy mohou být řešeny pouze s použitím struktur IF.

CASE řídicí proměnná OF

```
    hodnota_1 řídicí proměnné : příkazy k vykonání při hodnotě_1 ;
    hodnota_2 řídicí proměnné : příkazy k vykonání při hodnotě_2 ;
    .
    .
    .
    hodnota_n řídicí proměnné : příkazy k vykonání při hodnotě_n
END_CASE
```

6) *Hodnoty globálních proměnných spojených s blokem FB_ValveControl*

Hodnoty jednotlivých globálních proměnných, které zajišťují ovládání VTEM, jsou nastavovány a výstupní proměnné interpretovány podle tabulky Cbus-Protocol VTEM, která je mezi příloženými soubory na USB flash disku. Na Obr. 92 je její upravená část, která se týká Motion App č. 5 – Supply and exhaust air flow control (Škrčení přívodu a odvětrání). Upravená část tabulky zobrazuje pod sebou data z PLC do VTEM a data přenášená z VTEM do PLC. Tato část tabulky by měla být použita pro řešení úlohy.

Cbus-Protocol VTEM													
MotionApp	Sensors				cyclic process data								
	without sensors	End switches	partial stroke	full stroke sensors	6 Bytes from PLC to VTEM								
					Mode	App-Control	App-Option	SetPoint Value 1		SetPoint Value 2			
					1	2	3	4	5	6			
6	2	8	16		16								
supply and exhaust air flow control	x				5	App-Control			opening degree exhaust air flow control 1 ± 0,01% 10000 ± 100 %	opening degree supply air flow control 1 ± 0,01% 10000 ± 100 %			
						0 ± blocked							
						1 ± advance ((4) pressurized)							
						2 ± Retract ((2) pressurized)							
						3 ± exhaust							
MotionApp	Sensors				6 Bytes from VTEM to PLC								
	without sensors	End switches	partial stroke	full stroke sensors	Mode	Valve State	App-State	Actual Value 1		Actual Value 2			
					1	2	3		4	5	6		
					6	2	1	1	1	1	1	1	1
supply and exhaust air flow control	x				Mode = 5	ValveState			opening degree exhaust air flow control 1 ± 0,01% 10000 ± 100 %	opening degree supply air flow control 1 ± 0,01% 10000 ± 100 %			

Obr. 92 Upravená část tabulky Cbus-Protocol VTEM – Supply and exhaust flow control (Škrzení přívodu a odvětrání)

7) Řešení chybových stavů, tzv. "Error Acknowledgement" (kvitace neaktivní poruchy, přijetí chybové hlášky), pro úlohy s FMT

Pokud nastane chybový stav, tak je právě běžící Motion App automaticky zastavena. Poté, co chybový stav pomine, je třeba provést tzv. "Error Acknowledgement", při němž je přijmuta hláška o proběhlé chybě. Po zaznamenání již vyřešené chyby se status ventilu VEVM nastaví na "not ready" a teprve po přijmutí hlášky o chybě se nastaví zpět na "configurable". Tzn., že i když nastane krátkodobá chyba, která samostatně odezní, je třeba provést tzv. "Error Acknowledgement". Pokud je chyba stále aktivní, tak je provoz ventilu zastaven a status ventilu je "failure". Pak nemá "Error Acknowledgement" na aktivaci ventilu vliv, to je možné až po odeznění chyby. Proto je možné do kódu umístit IF podmínku, která bude automaticky provádět "Error Acknowledgement" v případě, že chyby odezní, a to bez zásahu operátora. Toto je doporučeno provést pouze pro aplikace, které nejsou nebezpečné. Případně lze použít tlačítko ve vizualizaci k manuálnímu provedení "Error Acknowledgement". [28]

To, že nastala chyba, zjistíme tak, že se uživatelská proměnná GVL.V1_ActualValveMode, která koresponduje s výstupem "byActualValveMode" bloku FB_ValveControl, změní na hodnotu 61. To znamená, že byl zastaven chod právě vykonávané aplikace a ventil je deaktivován kvůli detekované chybě. Na výstupu "iErrorCode" bloku FB_ValveControl je k dispozici číslo (INT), které určuje poslední zaznamenanou chybu. [28]

Dvě možnosti provedení "Error Acknowledgement" jsou následující:

- 1) Na vstup bySetValveMode do bloku FB_ValveMode je přivedena hodnota 62, a to pomocí nastavení uživatelské globální proměnné GVL.V1_Mode na hodnotu 62. Tato hodnota znamená tzv. "Acknowledge inactive error" (je nutno přijmout neaktivní chyby, provést kvitaci neaktivních poruch).

GVL.V1_Mode := 62 ;

- 2) Stejný význam má detekce náběžné hrany na vstupu xManualAcknowledge bloku FB_ValveControl. Tato náběžná hrana je realizována nastavením uživatelské globální proměnné GVL.xMan z hodnoty FALSE na hodnotu TRUE.

GVL.xMan := TRUE ;

Pro hlubší porozumění této problematice je možno prostudovat dokumenty vydané firmou Festo, a to: VTEM Motion Terminal – Manual [28], Festo Motion Terminal (VTEM) – Malfunction codes [66], VTEM Motion Terminal – Quick Reference: PLC programming [67].

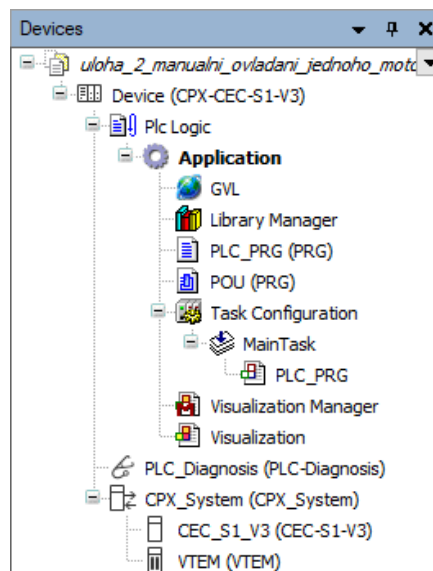
ŘEŠENÁ ÚLOHA

Všechny řešené úlohy jsou umístěny na USB flash disku, který je přiložen k této práci.

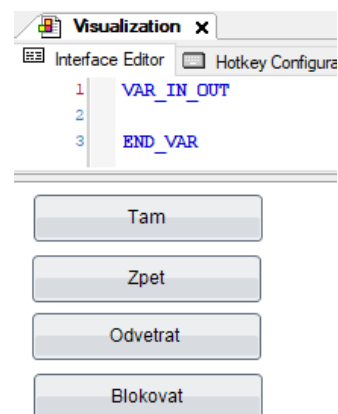
Náhledy na jednotlivé části aplikace jsou na následujících obrázcích: části projektu ve stromové struktuře na Obr. 93, seznam globálních proměnných GVL na Obr. 95, POU v jazyce CFC, kde je umístěn funkční blok ValveControl, na Obr. 74 a vizualizace k úloze na Obr. 94. Dále jsou na Obr. 96 ukázány dva různé přístupy k řešení programu ST (PLC_PRG).

Tyto přístupy k řešení úlohy lze označit jako kombinační a sekvenční. U kombinačního přístupu je možné využít při řešení pouze struktur IF (na Obr. 96 vlevo). Druhým přístupem je přístup sekvenční (krokový) pomocí struktury CASE. Tato úloha tento přístup nevyžaduje, ale bude na něj navázáno v dalších úlohách, proto je zde ukázán (na Obr. 96 vpravo). V tomto přístupu je řídicí proměnnou pro CASE proměnná StavovyCitac, která je typu INT.

Struktura s IF, která zajišťuje blokaci pístu, je umístěna mimo strukturu CASE tak, aby fungovala jako bezpečnostní element. Tzn., aby bylo možné provést blokaci pístu tlačítkem "Blokovat", bez ohledu na to, jaká je hodnota proměnné StavovyCitac. Tento koncept je opět důležitý pro další komplexnější úlohy.



Obr. 93 Stromová struktura projektu



Obr. 94 Vizualizace k řešené Úloze 2

```

GVL x
1 (attribute 'qualified_only')
2 VAR GLOBAL
3   V1_ValveControl : FestoVTEMdc . FB_ValveControl ;
4   Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;
5   V1_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
6   V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
7   V1_ActualValveMode : INT ;
8   V1_Enable : BOOL ;
9   V1_Mode : BYTE ;
10  V1_AppC : BYTE ;
11  V1_App0 : BYTE ;
12  V1_Set1 : INT ;
13  V1_Set2 : INT ;
14  V1_AV1 : INT ;
15  V1_AV2 : INT ;
16
17  Blokovat : BOOL ;
18  Tam : BOOL ;
19  Zpet : BOOL ;
20  Odvetrat : BOOL ;
21
22  xMan : BOOL := FALSE ;
23 END_VAR

```

Obr. 95 Seznam globálních proměnných řešené Úlohy 2

<pre> PLC_PRG x 1 PROGRAM PLC_PRG 2 VAR 3 END_VAR 1 POU () ; 2 3 IF (GVL . Hex_Switch = 2) THEN 4 5 GVL . V1_Enable := TRUE; 6 GVL.V1_Set1:=10000; 7 GVL.V1_Set2:=10000; 8 GVL . V1_Mode := 5 ; 9 END_IF 10 11 IF (GVL.V1_ActualValveMode = 61) THEN 12 GVL.xMan := TRUE; 13 END_IF 14 15 IF NOT (GVL.V1_ActualValveMode = 61) THEN 16 GVL.xMan := FALSE; 17 END_IF 18 19 20 IF NOT (GVL . Hex_Switch = 2) THEN 21 GVL . V1_Enable := FALSE ; 22 END_IF 23 24 IF GVL . Tam THEN 25 GVL . V1_AppC := 2 ; 26 END_IF 27 28 IF GVL . Zpet THEN 29 GVL . V1_AppC := 1 ; 30 END_IF 31 32 IF GVL . Odvetrat THEN 33 GVL . V1_AppC := 3 ; 34 END_IF 35 36 IF GVL . Blokovat THEN 37 GVL . V1_AppC := 0 ; 38 END_IF </pre>	<pre> PLC_PRG x 1 PROGRAM PLC_PRG 2 VAR 3 StavovyCitac : INT; 4 END_VAR 1 POU () ; 2 CASE StavovyCitac OF 3 0 : 4 StavovyCitac := 10; 5 10: 6 IF (GVL . Hex_Switch = 2) THEN 7 8 GVL . V1_Enable := TRUE; 9 GVL . V1_Mode := 62 ; 10 GVL.V1_Set1:=10000; 11 GVL.V1_Set2:=10000; 12 StavovyCitac := 20; 13 END_IF 14 20 : 15 GVL . V1_Mode := 5 ; 16 StavovyCitac := 100; 17 18 100: 19 IF GVL . Tam THEN 20 GVL . V1_AppC := 2 ; 21 END_IF 22 StavovyCitac := 120; 23 120: 24 IF GVL . Zpet THEN 25 GVL . V1_AppC := 1 ; 26 END_IF 27 StavovyCitac :=140; 28 140: 29 IF GVL . Odvetrat THEN 30 GVL . V1_AppC := 3 ; 31 END_IF 32 StavovyCitac := 160; 33 160: 34 IF NOT (GVL . Hex_Switch = 2) THEN 35 GVL . V1_Enable := FALSE ; 36 StavovyCitac := 10; 37 ELSE 38 StavovyCitac := 180 ; 39 END_IF 40 180: 41 IF (GVL.V1_ActualValveMode = 61) THEN 42 StavovyCitac := 10; 43 ELSE 44 StavovyCitac := 100; 45 END_IF 46 END_CASE 47 48 IF GVL . Blokovat THEN 49 GVL . V1_AppC := 0 ; 50 StavovyCitac := 10; 51 END_IF </pre>
---	---

Obr. 96 Dva různé přístupy k programu v ST PLC_PRG řešené Úlohy 2 (vlevo: kombinační, vpravo: sekvenční)

8.2.4. KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Otázka 1:

Popište, jak je možné ve vizualizaci propojit vizualizační prvky s proměnnými.

Odpověď 1:

Vizualizační prvky lze propojit s proměnnými pomocí okna Properties (vlastnosti), ve kterém jsou zobrazeny vlastnosti právě vybraného prvku. Pouze prvky vhodné k propojení mají vlastnosti Variable (proměnná) nebo Value (hodnota). K těmto vlastnostem může být zapsána jako hodnota již existující proměnná. Tímto je vizualizační prvek propojen s danou proměnnou.

Otázka 2:

Popište, jak jsou v jazyku ST (v softwarovém prostředí CODESYS) deklarovány proměnné.

Odpověď 2:

Nutné prvky deklarace proměnné jsou následující:

identifikátor proměnné : typ proměnné;

Deklaraci proměnné lze rozšířit také o přiřazení přímé proměnné (adresy) a o specifickou počáteční hodnotu proměnné. Pokud není zadána specifická počáteční hodnota proměnné, je počáteční hodnota defaultní, a to 0 pro číselné a logické proměnné a "prázdný string" pro proměnné typu string. Rozšířená deklarace proměnné:

identifikátor proměnné AT adresa : typ proměnné := počáteční hodnota ;

Otázka 3:

Popište, jak je v jazyce ST přiřazena již deklarované proměnné hodnoty.

Odpověď 3:

identifikátor proměnné := hodnota proměnné ;

Otázka 4:

Jakými způsoby lze provést tzv. "Error Acknowledgement" (kvitaci již neaktivních chyb)?

Odpověď 4:

1) Nastavením uživatelské globální proměnné GVL.V1_Mode na hodnotu 62. Tato globální proměnná je přivedena na vstup "bySetValveMode" bloku FB_ValveControl. Pokud je hodnota 62 přivedena na tento vstup, značí to "Acknowledge inactive error", což znamená přijmutí neaktivních chyb.

GVL.V1_Mode := 62 ;

2) Stejnou funkci plní také detekce náběžné hrany na vstupu "xManualAcknowledge" na bloku FB_ValveControl. Toho je docíleno tak, že je změněna hodnota uživatelské globální proměnné GVL.xMan z hodnoty FALSE na hodnotu TRUE.

GVL.xMan := TRUE ;

8.3. ÚLOHA 3 : SEKVENČNÍ PROVOZ JEDNOHO VÁLCE S KONCOVÝMI SENZORY

Úloha 3 navazuje na Úlohu 2, kdy je k ní přidán sekvenční provoz válce na základě proměnných, které korespondují se signálem z koncových senzorů jejich polohy. V této úloze je použita Motion App č.6 – ECO drive (Pohyb ECO), která využívá koncové senzory.

8.3.1. ZADÁNÍ ÚLOHY

- 1) Prostudujte kapitolu 3.1.1. a 3.2.6. a 7.1. této práce.
- 2) Sestavte fyzické zapojení jako v Úloze 2, s tím rozdílem, že zde jsou použity také senzory polohy Festo Didactic s upevněním na válec a 3-pinové propojovací kabely. Zapojení senzorů je popsáno v návodu k této úloze v kapitole 8.3.3. této práce, kde je i vyobrazení hotového fyzického zapojení pro tuto úlohu.
- 3) Připravte nový projekt v softwarovém prostředí CODESYS pro FMT (případně nahlédněte do kapitoly 7.3. této práce). Tento krok je již známý z Úlohy 2.
- 4) Naprogramujte program PLC_PRG v jazyku ST a vytvořte vizualizaci tak, aby splňovaly následující podmínky:
 - a. Ovládací prvky by měly umožňovat manuální i sekvenční ovládání.
 - b. Manuální ovládání má umožňovat vyjetí a zjetí pístu, odvětrání portů a blokování portů.
 - c. Sekvenční ovládání má umožňovat zahájení a ukončení sekvence.
 - d. Sekvence zde znamená maximální vyjetí pístu a poté úplné zjetí pístu.
 - e. Sekvence se opakuje, dokud nedojde k ukončení sekvence z vizualizace.
 - f. Před začátkem sekvence dojde k zjetí pístu.

Pro programování využijte informace z manuálu v kapitole 8.3.3. této práce.

8.3.2. DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE

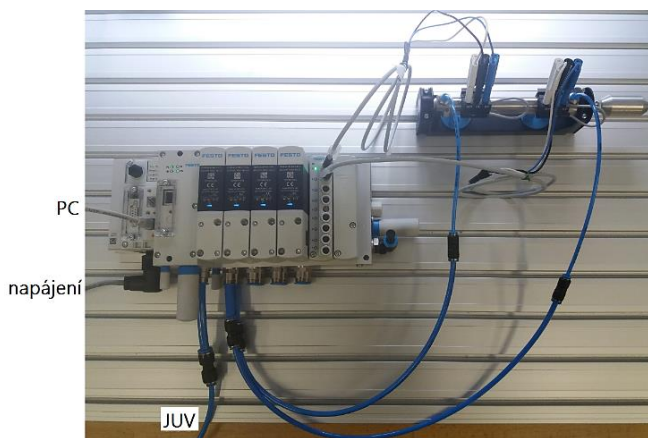
Instrumentace k úlohám je podrobně popsána v kapitole 7.1. Instrumentace pro úlohy této práce. Dále je již uveden zkrácený seznam počtu kusů potřebných pro danou úlohu.

- instrumentace na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT
 - 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) napojený na rozvod vzduchu v laboratoři C1-109
 - 1 x držák modulů Learntop-L (rampa) pro profilovou desku
 - 1 x profilová deska pro upevnění komponent
 - 1 x napájecí modul EduTrainer®
- 1 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor
- 2 x elektronický magnetický přibližovací jazýčkový senzor s upevněním na válec
- 2 x 3pinový propojovací kabel pro propojení senzoru a modulu vstupů
- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H
- 1 x napájecí kabel pro FMT
- 1 x počítač nebo notebook
- 1 x síťový ethernetový propojovací kabel
- 1 x záslepka QSC-10H
- vzduchové hadice různých rozměrů a pneumatické armatury typu hadice-hadice pro pneumatické propojení komponentů
 - 1 x 10mm hadice, 2 x 8mm hadice, 3 x 6mm hadice, 2 x 4mm hadice, 1 x QS-10-6, 2 x QS-8-6, 2 x QS-6-4

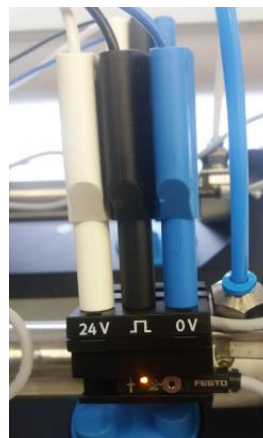
8.3.3. NÁVOD – ŘEŠENÍ

NÁVOD

Fyzické zapojení Úlohy 3:



Obr. 97 Zapojení Úlohy 3



Obr. 98 Zapojení bezpečnostních konektorů 3-pinového propojovacího kabelu na senzor polohy Festo Didactic

Zapojení Úlohy 3 je stejné jako v Úloze 2, navíc jsou zde zapojeny senzory polohy a propojovací kabely.

Celkové zapojení je na Obr. 97. Zadní senzor (zajeté polohy) je připojen na první vstup modulu digitálních vstupů CTMM-D a přední senzor (vyjeté polohy) je připojen na druhý vstup. Zapojení bezpečnostních konektorů propojovacího kabelu na senzor (Obr. 98) je následující: bílý konektor je zapojen na 24V, černý na signálový výstup a modrý na 0V.

Programování v jazyku ST v prostředí CODESYS

Tabulka pro nastavení a interpretaci hodnot globálních proměnných spojených s blokem FB_ValveControl pro Motion App č. 6 – ECO drive (Pohyb ECO) je na obr. 99. Nastavení pohybu válce je stejné jako pro Motion App č.5. Dále je možné nastavit otevření přívodu vzduchu, ale není možné nastavit otevření odvětrání. Toto je vysvětleno v popisu aplikace Motion App č.6 v kapitole 3.2.6. této práce.

Pro tuto úlohu je nejdůležitější proměnná "App-State" v datech od VTEM do PLC, kde je možné vyčíst který senzor je právě aktivní. V rámci programu ST s předem definovanými uživatelskými globálními proměnnými lze použít podmínku IF pro využití vstupu ze senzorů. Výstupem byActualAppState bloku FB_ValveControl je hodnota vyjadřující stav senzorů přenesena do globální proměnné GVL.V1_ActualAppState. Hodnoty jsou následující:

GVL.V1_ActualAppState = 1 , pokud je aktivní první vstup na modulu digitálních vstupů.

GVL.V1_ActualAppState = 4 , pokud je aktivní druhý vstup na modulu digitálních vstupů.

Studentům je doporučeno pro rozdělení manuálního a sekvenčního ovládání použít vytvoření "stavů" pomocí struktury CASE, jak bylo ukázáno v Úloze 2, ale mohou použít i svá kreativní řešení, např. pomocí nových uživatelských proměnných.

Cbus-Protocol VTEM																
MotionApp	Sensors				cyclic process data											
	without sensors	End switches	partial stroke	full stroke sensors	6 Bytes from PLC to VTEM											
					Mode	App-Control	App-Option	SetPoint Value 1		SetPoint Value 2						
					1	2	3	4	5	6						
				6	2	8	16		16							
ECO drive	x				6	App-Control 0 Δ blocked 1 Δ advance ((4) pressurized) 2 Δ Retract ((2) pressurized) 3 Δ exhaust			opening degree supply air flow control 1 Δ 0,01% 10000 Δ 100 %							
MotionApp	Sensors				6 Bytes from VTEM to PLC											
	without sensors	End switches	partial stroke	full stroke sensors	Mode	Valve State	App-State				Actual Value 1		Actual Value 2			
					1	2	2				3	4	5	6		
				6	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	16
ECO drive	x				Mode=6	ValveState	retracted EndPos	advanced EndPos				Warning	Actual Pressure at (2) $\pm 1 \Delta \pm 1$ mbar $\pm 32767 \Delta \pm 32,767$ bar		Actual Pressure at (4) $\pm 1 \Delta \pm 1$ mbar $\pm 32767 \Delta \pm 32,767$ bar	

Obr. 99 Upravená část tabulky Cbus-Protocol VTEM - ECO drive (Pohyb ECO)

ŘEŠENÁ ÚLOHA

```

1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3
4   Vl_ValveControl : FestoVTEMdc . FB_ValveControl ;
5
6   Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;
7
8   Vl_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
9   Vl_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
10
11   Vl_ActualValveMode : INT ;
12   Vl_ActualAppState : BYTE ;
13
14   Vl_Enable : BOOL ;
15   Vl_Mode : BYTE ;
16   Vl_AppC : BYTE ;
17   Vl_App0 : BYTE ;
18   Vl_Set1 : INT ;
19   Vl_Set2 : INT ;
20
21   Vl_AV1 : INT ;
22   Vl_AV2 : INT ;
23
24   Blokovat : BOOL ;
25   Tam : BOOL ;
26   Zpet : BOOL ;
27   Odvetrat : BOOL ;
28   StartSekvence : BOOL ;
29   KonecSekvence : BOOL ;
30
31   xMan : BOOL := FALSE ;
32
33 END_VAR

```

Obr. 100 Globální proměnné řešení Úlohy 3

Na Obr. 100 je vidět seznam globálních proměnných řešení úlohy 3, které jsou stejné jako v úloze 2 až na přidání proměnné typu BOOL: StartSekvence a KonecSekvence. Proměnné Blokovat, Tam, Zpět, Odvětrat, StartSekvence a KonecSekvence jsou provázány s tlačítky vizualizace, která je znázorněna na Obr. 101.

Řešená Úloha 3 je k dispozici na USB flash disku přiloženém k této práci.



Obr. 101 Vizualizace řešení Úlohy 3

Na Obr. 102 je kód v jazyku ST programu PLC_PRG řešení Úlohy 3. Ve "stavu" 10 je vidět nastavení otevření přívodu vzduchu na 100 %, jelikož v této aplikaci nebylo zadáno vytvářet úspory, ale pouze využít senzory polohy. Ve "stavu" 200 probíhá příprava na začátek sekvenčních pohybů, tzn., pokud je píst jinde než v zaseté poloze, proběhne nejprve jeho zasetí. Sekvenční logika je celá ve "stavu" 220. Manuální ovládání (kromě blokace) nefunguje, pokud je zapnutá sekvence. Opět je zde blokace pístu umístěná mimo CASE strukturu tak, aby mohla fungovat jako bezpečnostní element. V každé části programu, kde se cyklicky střídají určité stavy, je přidána záchytná struktura IF pro případ potřeby provedení tzv. "Error Acknowledgement" anebo pro případ, že rotační spínač fyzicky umístěný na CPX-CEC-S1-V3 modulu bude přepnut z polohy 2 (poloha pro běh programu).

```

1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3  StavovýCitac : INT;
4  END_VAR
5
6  POU ( ) ;
7  CASE StavovýCitac OF
8  0 :
9  StavovýCitac := 10;
10
11 10: IF (GVL . Hex_Switch = 2 ) THEN
12   GVL.VL_Set2:=10000;
13   GVL . VL_Enable := TRUE;
14   GVL . VL_Mode := 6 ;
15   StavovýCitac := 20;
16 ELSE
17   GVL . VL_Enable := FALSE;
18   StavovýCitac := 10;
19 END_IF
20
21 20: IF ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
22   GVL.rMan := TRUE;
23   StavovýCitac := 10;
24 ELSE
25   GVL.rMan := FALSE;
26   StavovýCitac := 100;
27 END_IF
28
29 100: IF GVL . Tam THEN
30   GVL . VL_AppC := 2 ;
31 END_IF
32   StavovýCitac := 120 ;
33
34 120: IF GVL . Zpet THEN
35   GVL . VL_AppC := 1 ;
36 END_IF
37   StavovýCitac :=140;
38
39 140: IF GVL . Odvetrat THEN
40   GVL . VL_AppC := 3 ;
41 END_IF
42   StavovýCitac := 160;
43
44 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
45   StavovýCitac := 10;
46 ELSE
47   StavovýCitac := 190;
48 END_IF
49
50 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
51   StavovýCitac:= 200;
52 ELSE
53   StavovýCitac :=100;
54 END_IF
55
56 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
57   GVL . VL_AppC := 2 ;
58   StavovýCitac := 200;
59 ELSE
60   StavovýCitac := 220;
61 END_IF
62
63 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
64   GVL . VL_AppC := 2 ;
65 END_IF
66
67 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
68   GVL . VL_AppC := 1 ;
69 END_IF
70
71   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
72     StavovýCitac := 100;
73   ELSE
74     StavovýCitac := 240;
75   END_IF
76
77   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
78     StavovýCitac := 10;
79   ELSE
80     StavovýCitac := 220;
81   END_IF
82
83   IF GVL . Blokovat THEN
84     GVL . VL_AppC := 0 ;
85   END_IF
86   StavovýCitac := 10;
87
88   IF GVL . Blokovat THEN
89     GVL . VL_AppC := 0 ;
90   END_IF
91   StavovýCitac := 160;
92 END_IF
93
94 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
95   StavovýCitac := 10;
96 ELSE
97   StavovýCitac := 190;
98 END_IF
99
100 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
101   StavovýCitac:= 200;
102 ELSE
103   StavovýCitac :=100;
104 END_IF
105
106 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
107   GVL . VL_AppC := 2 ;
108   StavovýCitac := 200;
109 ELSE
110   StavovýCitac := 220;
111 END_IF
112
113 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
114   GVL . VL_AppC := 2 ;
115 END_IF
116
117 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
118   GVL . VL_AppC := 1 ;
119 END_IF
120
121   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
122     StavovýCitac := 100;
123   ELSE
124     StavovýCitac := 240;
125   END_IF
126
127   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
128     StavovýCitac := 10;
129   ELSE
130     StavovýCitac := 220;
131   END_IF
132
133   IF GVL . Blokovat THEN
134     GVL . VL_AppC := 0 ;
135   END_IF
136   StavovýCitac := 10;
137 END_IF
138
139 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
140   StavovýCitac := 10;
141 ELSE
142   StavovýCitac := 190;
143 END_IF
144
145 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
146   StavovýCitac:= 200;
147 ELSE
148   StavovýCitac :=100;
149 END_IF
150
151 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
152   GVL . VL_AppC := 2 ;
153   StavovýCitac := 200;
154 ELSE
155   StavovýCitac := 220;
156 END_IF
157
158 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
159   GVL . VL_AppC := 2 ;
160 END_IF
161
162 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
163   GVL . VL_AppC := 1 ;
164 END_IF
165
166   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
167     StavovýCitac := 100;
168   ELSE
169     StavovýCitac := 240;
170   END_IF
171
172   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
173     StavovýCitac := 10;
174   ELSE
175     StavovýCitac := 220;
176   END_IF
177
178   IF GVL . Blokovat THEN
179     GVL . VL_AppC := 0 ;
180   END_IF
181   StavovýCitac := 10;
182 END_IF
183
184 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
185   StavovýCitac := 10;
186 ELSE
187   StavovýCitac := 190;
188 END_IF
189
190 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
191   StavovýCitac:= 200;
192 ELSE
193   StavovýCitac :=100;
194 END_IF
195
196 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
197   GVL . VL_AppC := 2 ;
198   StavovýCitac := 200;
199 ELSE
200   StavovýCitac := 220;
201 END_IF
202
203 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
204   GVL . VL_AppC := 2 ;
205 END_IF
206
207 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
208   GVL . VL_AppC := 1 ;
209 END_IF
210
211   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
212     StavovýCitac := 100;
213   ELSE
214     StavovýCitac := 240;
215   END_IF
216
217   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
218     StavovýCitac := 10;
219   ELSE
220     StavovýCitac := 220;
221   END_IF
222
223   IF GVL . Blokovat THEN
224     GVL . VL_AppC := 0 ;
225   END_IF
226   StavovýCitac := 10;
227 END_IF
228
229 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
230   StavovýCitac := 10;
231 ELSE
232   StavovýCitac := 190;
233 END_IF
234
235 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
236   StavovýCitac:= 200;
237 ELSE
238   StavovýCitac :=100;
239 END_IF
240
241 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
242   GVL . VL_AppC := 2 ;
243   StavovýCitac := 200;
244 ELSE
245   StavovýCitac := 220;
246 END_IF
247
248 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
249   GVL . VL_AppC := 2 ;
250 END_IF
251
252 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
253   GVL . VL_AppC := 1 ;
254 END_IF
255
256   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
257     StavovýCitac := 100;
258   ELSE
259     StavovýCitac := 240;
260   END_IF
261
262   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
263     StavovýCitac := 10;
264   ELSE
265     StavovýCitac := 220;
266   END_IF
267
268   IF GVL . Blokovat THEN
269     GVL . VL_AppC := 0 ;
270   END_IF
271   StavovýCitac := 10;
272 END_IF
273
274 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
275   StavovýCitac := 10;
276 ELSE
277   StavovýCitac := 190;
278 END_IF
279
280 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
281   StavovýCitac:= 200;
282 ELSE
283   StavovýCitac :=100;
284 END_IF
285
286 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
287   GVL . VL_AppC := 2 ;
288   StavovýCitac := 200;
289 ELSE
290   StavovýCitac := 220;
291 END_IF
292
293 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
294   GVL . VL_AppC := 2 ;
295 END_IF
296
297 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
298   GVL . VL_AppC := 1 ;
299 END_IF
300
301   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
302     StavovýCitac := 100;
303   ELSE
304     StavovýCitac := 240;
305   END_IF
306
307   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
308     StavovýCitac := 10;
309   ELSE
310     StavovýCitac := 220;
311   END_IF
312
313   IF GVL . Blokovat THEN
314     GVL . VL_AppC := 0 ;
315   END_IF
316   StavovýCitac := 10;
317 END_IF
318
319 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
320   StavovýCitac := 10;
321 ELSE
322   StavovýCitac := 190;
323 END_IF
324
325 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
326   StavovýCitac:= 200;
327 ELSE
328   StavovýCitac :=100;
329 END_IF
330
331 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
332   GVL . VL_AppC := 2 ;
333   StavovýCitac := 200;
334 ELSE
335   StavovýCitac := 220;
336 END_IF
337
338 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
339   GVL . VL_AppC := 2 ;
340 END_IF
341
342 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
343   GVL . VL_AppC := 1 ;
344 END_IF
345
346   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
347     StavovýCitac := 100;
348   ELSE
349     StavovýCitac := 240;
350   END_IF
351
352   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
353     StavovýCitac := 10;
354   ELSE
355     StavovýCitac := 220;
356   END_IF
357
358   IF GVL . Blokovat THEN
359     GVL . VL_AppC := 0 ;
360   END_IF
361   StavovýCitac := 10;
362 END_IF
363
364 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
365   StavovýCitac := 10;
366 ELSE
367   StavovýCitac := 190;
368 END_IF
369
370 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
371   StavovýCitac:= 200;
372 ELSE
373   StavovýCitac :=100;
374 END_IF
375
376 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
377   GVL . VL_AppC := 2 ;
378   StavovýCitac := 200;
379 ELSE
380   StavovýCitac := 220;
381 END_IF
382
383 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
384   GVL . VL_AppC := 2 ;
385 END_IF
386
387 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
388   GVL . VL_AppC := 1 ;
389 END_IF
390
391   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
392     StavovýCitac := 100;
393   ELSE
394     StavovýCitac := 240;
395   END_IF
396
397   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
398     StavovýCitac := 10;
399   ELSE
400     StavovýCitac := 220;
401   END_IF
402
403   IF GVL . Blokovat THEN
404     GVL . VL_AppC := 0 ;
405   END_IF
406   StavovýCitac := 10;
407 END_IF
408
409 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
410   StavovýCitac := 10;
411 ELSE
412   StavovýCitac := 190;
413 END_IF
414
415 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
416   StavovýCitac:= 200;
417 ELSE
418   StavovýCitac :=100;
419 END_IF
420
421 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
422   GVL . VL_AppC := 2 ;
423   StavovýCitac := 200;
424 ELSE
425   StavovýCitac := 220;
426 END_IF
427
428 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
429   GVL . VL_AppC := 2 ;
430 END_IF
431
432 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
433   GVL . VL_AppC := 1 ;
434 END_IF
435
436   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
437     StavovýCitac := 100;
438   ELSE
439     StavovýCitac := 240;
440   END_IF
441
442   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
443     StavovýCitac := 10;
444   ELSE
445     StavovýCitac := 220;
446   END_IF
447
448   IF GVL . Blokovat THEN
449     GVL . VL_AppC := 0 ;
450   END_IF
451   StavovýCitac := 10;
452 END_IF
453
454 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
455   StavovýCitac := 10;
456 ELSE
457   StavovýCitac := 190;
458 END_IF
459
460 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
461   StavovýCitac:= 200;
462 ELSE
463   StavovýCitac :=100;
464 END_IF
465
466 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
467   GVL . VL_AppC := 2 ;
468   StavovýCitac := 200;
469 ELSE
470   StavovýCitac := 220;
471 END_IF
472
473 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
474   GVL . VL_AppC := 2 ;
475 END_IF
476
477 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
478   GVL . VL_AppC := 1 ;
479 END_IF
480
481   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
482     StavovýCitac := 100;
483   ELSE
484     StavovýCitac := 240;
485   END_IF
486
487   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
488     StavovýCitac := 10;
489   ELSE
490     StavovýCitac := 220;
491   END_IF
492
493   IF GVL . Blokovat THEN
494     GVL . VL_AppC := 0 ;
495   END_IF
496   StavovýCitac := 10;
497 END_IF
498
499 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
500   StavovýCitac := 10;
501 ELSE
502   StavovýCitac := 190;
503 END_IF
504
505 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
506   StavovýCitac:= 200;
507 ELSE
508   StavovýCitac :=100;
509 END_IF
510
511 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
512   GVL . VL_AppC := 2 ;
513   StavovýCitac := 200;
514 ELSE
515   StavovýCitac := 220;
516 END_IF
517
518 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
519   GVL . VL_AppC := 2 ;
520 END_IF
521
522 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
523   GVL . VL_AppC := 1 ;
524 END_IF
525
526   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
527     StavovýCitac := 100;
528   ELSE
529     StavovýCitac := 240;
530   END_IF
531
532   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
533     StavovýCitac := 10;
534   ELSE
535     StavovýCitac := 220;
536   END_IF
537
538   IF GVL . Blokovat THEN
539     GVL . VL_AppC := 0 ;
540   END_IF
541   StavovýCitac := 10;
542 END_IF
543
544 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
545   StavovýCitac := 10;
546 ELSE
547   StavovýCitac := 190;
548 END_IF
549
550 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
551   StavovýCitac:= 200;
552 ELSE
553   StavovýCitac :=100;
554 END_IF
555
556 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
557   GVL . VL_AppC := 2 ;
558   StavovýCitac := 200;
559 ELSE
560   StavovýCitac := 220;
561 END_IF
562
563 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
564   GVL . VL_AppC := 2 ;
565 END_IF
566
567 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
568   GVL . VL_AppC := 1 ;
569 END_IF
570
571   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
572     StavovýCitac := 100;
573   ELSE
574     StavovýCitac := 240;
575   END_IF
576
577   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
578     StavovýCitac := 10;
579   ELSE
580     StavovýCitac := 220;
581   END_IF
582
583   IF GVL . Blokovat THEN
584     GVL . VL_AppC := 0 ;
585   END_IF
586   StavovýCitac := 10;
587 END_IF
588
589 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
590   StavovýCitac := 10;
591 ELSE
592   StavovýCitac := 190;
593 END_IF
594
595 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
596   StavovýCitac:= 200;
597 ELSE
598   StavovýCitac :=100;
599 END_IF
600
601 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
602   GVL . VL_AppC := 2 ;
603   StavovýCitac := 200;
604 ELSE
605   StavovýCitac := 220;
606 END_IF
607
608 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
609   GVL . VL_AppC := 2 ;
610 END_IF
611
612 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
613   GVL . VL_AppC := 1 ;
614 END_IF
615
616   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
617     StavovýCitac := 100;
618   ELSE
619     StavovýCitac := 240;
620   END_IF
621
622   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
623     StavovýCitac := 10;
624   ELSE
625     StavovýCitac := 220;
626   END_IF
627
628   IF GVL . Blokovat THEN
629     GVL . VL_AppC := 0 ;
630   END_IF
631   StavovýCitac := 10;
632 END_IF
633
634 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
635   StavovýCitac := 10;
636 ELSE
637   StavovýCitac := 190;
638 END_IF
639
640 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
641   StavovýCitac:= 200;
642 ELSE
643   StavovýCitac :=100;
644 END_IF
645
646 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
647   GVL . VL_AppC := 2 ;
648   StavovýCitac := 200;
649 ELSE
650   StavovýCitac := 220;
651 END_IF
652
653 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
654   GVL . VL_AppC := 2 ;
655 END_IF
656
657 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
658   GVL . VL_AppC := 1 ;
659 END_IF
660
661   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
662     StavovýCitac := 100;
663   ELSE
664     StavovýCitac := 240;
665   END_IF
666
667   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
668     StavovýCitac := 10;
669   ELSE
670     StavovýCitac := 220;
671   END_IF
672
673   IF GVL . Blokovat THEN
674     GVL . VL_AppC := 0 ;
675   END_IF
676   StavovýCitac := 10;
677 END_IF
678
679 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
680   StavovýCitac := 10;
681 ELSE
682   StavovýCitac := 190;
683 END_IF
684
685 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
686   StavovýCitac:= 200;
687 ELSE
688   StavovýCitac :=100;
689 END_IF
690
691 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
692   GVL . VL_AppC := 2 ;
693   StavovýCitac := 200;
694 ELSE
695   StavovýCitac := 220;
696 END_IF
697
698 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
699   GVL . VL_AppC := 2 ;
700 END_IF
701
702 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
703   GVL . VL_AppC := 1 ;
704 END_IF
705
706   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
707     StavovýCitac := 100;
708   ELSE
709     StavovýCitac := 240;
710   END_IF
711
712   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
713     StavovýCitac := 10;
714   ELSE
715     StavovýCitac := 220;
716   END_IF
717
718   IF GVL . Blokovat THEN
719     GVL . VL_AppC := 0 ;
720   END_IF
721   StavovýCitac := 10;
722 END_IF
723
724 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
725   StavovýCitac := 10;
726 ELSE
727   StavovýCitac := 190;
728 END_IF
729
730 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
731   StavovýCitac:= 200;
732 ELSE
733   StavovýCitac :=100;
734 END_IF
735
736 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
737   GVL . VL_AppC := 2 ;
738   StavovýCitac := 200;
739 ELSE
740   StavovýCitac := 220;
741 END_IF
742
743 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
744   GVL . VL_AppC := 2 ;
745 END_IF
746
747 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
748   GVL . VL_AppC := 1 ;
749 END_IF
750
751   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
752     StavovýCitac := 100;
753   ELSE
754     StavovýCitac := 240;
755   END_IF
756
757   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
758     StavovýCitac := 10;
759   ELSE
760     StavovýCitac := 220;
761   END_IF
762
763   IF GVL . Blokovat THEN
764     GVL . VL_AppC := 0 ;
765   END_IF
766   StavovýCitac := 10;
767 END_IF
768
769 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
770   StavovýCitac := 10;
771 ELSE
772   StavovýCitac := 190;
773 END_IF
774
775 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
776   StavovýCitac:= 200;
777 ELSE
778   StavovýCitac :=100;
779 END_IF
780
781 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
782   GVL . VL_AppC := 2 ;
783   StavovýCitac := 200;
784 ELSE
785   StavovýCitac := 220;
786 END_IF
787
788 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
789   GVL . VL_AppC := 2 ;
790 END_IF
791
792 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
793   GVL . VL_AppC := 1 ;
794 END_IF
795
796   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
797     StavovýCitac := 100;
798   ELSE
799     StavovýCitac := 240;
800   END_IF
801
802   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
803     StavovýCitac := 10;
804   ELSE
805     StavovýCitac := 220;
806   END_IF
807
808   IF GVL . Blokovat THEN
809     GVL . VL_AppC := 0 ;
810   END_IF
811   StavovýCitac := 10;
812 END_IF
813
814 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
815   StavovýCitac := 10;
816 ELSE
817   StavovýCitac := 190;
818 END_IF
819
820 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
821   StavovýCitac:= 200;
822 ELSE
823   StavovýCitac :=100;
824 END_IF
825
826 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
827   GVL . VL_AppC := 2 ;
828   StavovýCitac := 200;
829 ELSE
830   StavovýCitac := 220;
831 END_IF
832
833 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
834   GVL . VL_AppC := 2 ;
835 END_IF
836
837 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
838   GVL . VL_AppC := 1 ;
839 END_IF
840
841   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
842     StavovýCitac := 100;
843   ELSE
844     StavovýCitac := 240;
845   END_IF
846
847   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
848     StavovýCitac := 10;
849   ELSE
850     StavovýCitac := 220;
851   END_IF
852
853   IF GVL . Blokovat THEN
854     GVL . VL_AppC := 0 ;
855   END_IF
856   StavovýCitac := 10;
857 END_IF
858
859 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
860   StavovýCitac := 10;
861 ELSE
862   StavovýCitac := 190;
863 END_IF
864
865 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
866   StavovýCitac:= 200;
867 ELSE
868   StavovýCitac :=100;
869 END_IF
870
871 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
872   GVL . VL_AppC := 2 ;
873   StavovýCitac := 200;
874 ELSE
875   StavovýCitac := 220;
876 END_IF
877
878 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
879   GVL . VL_AppC := 2 ;
880 END_IF
881
882 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
883   GVL . VL_AppC := 1 ;
884 END_IF
885
886   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
887     StavovýCitac := 100;
888   ELSE
889     StavovýCitac := 240;
890   END_IF
891
892   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
893     StavovýCitac := 10;
894   ELSE
895     StavovýCitac := 220;
896   END_IF
897
898   IF GVL . Blokovat THEN
899     GVL . VL_AppC := 0 ;
900   END_IF
901   StavovýCitac := 10;
902 END_IF
903
904 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
905   StavovýCitac := 10;
906 ELSE
907   StavovýCitac := 190;
908 END_IF
909
910 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
911   StavovýCitac:= 200;
912 ELSE
913   StavovýCitac :=100;
914 END_IF
915
916 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
917   GVL . VL_AppC := 2 ;
918   StavovýCitac := 200;
919 ELSE
920   StavovýCitac := 220;
921 END_IF
922
923 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
924   GVL . VL_AppC := 2 ;
925 END_IF
926
927 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
928   GVL . VL_AppC := 1 ;
929 END_IF
930
931   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
932     StavovýCitac := 100;
933   ELSE
934     StavovýCitac := 240;
935   END_IF
936
937   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
938     StavovýCitac := 10;
939   ELSE
940     StavovýCitac := 220;
941   END_IF
942
943   IF GVL . Blokovat THEN
944     GVL . VL_AppC := 0 ;
945   END_IF
946   StavovýCitac := 10;
947 END_IF
948
949 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
950   StavovýCitac := 10;
951 ELSE
952   StavovýCitac := 190;
953 END_IF
954
955 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
956   StavovýCitac:= 200;
957 ELSE
958   StavovýCitac :=100;
959 END_IF
960
961 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
962   GVL . VL_AppC := 2 ;
963   StavovýCitac := 200;
964 ELSE
965   StavovýCitac := 220;
966 END_IF
967
968 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
969   GVL . VL_AppC := 2 ;
970 END_IF
971
972 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
973   GVL . VL_AppC := 1 ;
974 END_IF
975
976   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
977     StavovýCitac := 100;
978   ELSE
979     StavovýCitac := 240;
980   END_IF
981
982   IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
983     StavovýCitac := 10;
984   ELSE
985     StavovýCitac := 220;
986   END_IF
987
988   IF GVL . Blokovat THEN
989     GVL . VL_AppC := 0 ;
990   END_IF
991   StavovýCitac := 10;
992 END_IF
993
994 160: IF NOT ( GVL . Hex_Switch = 2 ) OR ( GVL.VL_ActualValveMode = 61 ) THEN
995   StavovýCitac := 10;
996 ELSE
997   StavovýCitac := 190;
998 END_IF
999
1000 190: IF ( GVL.StartSekvence = TRUE) THEN
1001   StavovýCitac:= 200;
1002 ELSE
1003   StavovýCitac :=100;
1004 END_IF
1005
1006 200: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
1007   GVL . VL_AppC := 2 ;
1008   StavovýCitac := 200;
1009 ELSE
1010   StavovýCitac := 220;
1011 END_IF
1012
1013 220: IF (GVL.VL_ActualAppState = 4 ) THEN
1014   GVL . VL_AppC := 2 ;
1015 END_IF
1016
1017 240: IF (GVL.VL_ActualAppState = 1) THEN
1018   GVL . VL_AppC := 1 ;
1019 END_IF
1020
1021   IF (GVL.HonecSekvence = TRUE) THEN
1022     StavovýCitac := 100
```

8.3.4. KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Otázka 1:

Jaké je označení bloku digitálních vstupů na FMT? Kolik pinů má jeden digitální vstup na tomto bloku?

Odpověď 1:

Blok digitálních vstupů na FMT je označen CTMM-D.

Digitální vstup je realizován 3-pinovým konektorem.

Otázka 2:

Který výstup bloku FB_ValveControl udává aktivitu senzorů a která uživatelská proměnná je k němu přiřazena?

Odpověď 2:

Výstup: byActualAppState

Uživatelská proměnná: GVL.V1_ActualAppState

Otázka 3:

Jakých hodnot nabývá tato uživatelská proměnná při aktivaci jednotlivých senzorů (při daném zapojení senzorů na modul vstupů)?

Odpověď 3:

Při zapojení, kdy je senzor zaseté polohy připojen na první vstup modulu digitálních vstupů CTMM-D a senzor vyjeté polohy je připojen na druhý vstup tohoto modulu, jsou hodnoty uživatelské proměnné GVL.V1_ActualAppState následující:

GVL.V1_ActualAppState = 1 při aktivaci senzoru zaseté polohy pístu

GVL.V1_ActualAppState = 4 při aktivaci senzoru vyjeté polohy pístu

Otázka 4:

Jak korespondují dle barev bezpečnostní konektory 3-pinového propojovacího kabelu a výstupy senzoru polohy Festo Didactic?

Odpověď 4:

modrá – 0V , bílá – 24V , černá - signál

Otázka 5:

Popište funkci Motion App č.6 – ECO drive (Pohyb ECO).

Odpověď 5:

Motion App č.6 – ECO drive (Pohyb ECO) umožňuje vyjetí a zasetí pístu, odvětrání portů a blokaci portů. Zároveň umožňuje využití signálů ze senzorů polohy připojených na modul digitálních vstupů CTMM-D. Jedná se o Motion App pro energeticky úsporné pohyby válců. Odvětrání je vždy 100% otevřeno a přívodní tlak je regulován podle polohy pístu.

8.4. ÚLOHA 4 : ČASOVAČ

Úloha 4 navazuje na Úlohu 3 tím, že přidává do sekvenčního provozu časovač. Vždy po jednom pohybu (vyjetí/zajetí) v sekvenci má nastat časová prodleva. Je zde použita Motion App č.6 – ECO drive (Pohyb ECO), která využívá koncových senzorů polohy.

8.4.1. ZADÁNÍ ÚLOHY

- 1) Proveďte fyzické sestavení úlohy stejně jako v Úloze 3.
- 2) V softwarovém prostředí CODESYS založte nový projekt CPX-CEC a proveďte jeho přípravu pro aplikaci FMT jako v předchozích úlohách.
- 3) Prostudujte návod v kapitole 8.4.3., který se týká použití bloků časovačů v jazyce ST v softwarovém prostředí CODESYS.
- 4) Naprogramujte program PLC_PRG v jazyku ST a vytvořte vizualizaci tak, aby splňovaly následující podmínky:
 - a. Ovládací prvky by měly umožňovat manuální i sekvenční ovládání.
 - b. Manuální ovládání má umožňovat vyjetí a zajetí pístu, odvětrání portů a blokování portů.
 - c. Sekvenční ovládání má umožňovat zahájení a ukončení sekvence.
 - d. Sekvence znamená maximální vyjetí pístu a poté úplné zajetí pístu.
 - e. Mezi každým pohybem v sekvenci (vyjetím/zajetím pístu) je vytvořena pomocí časovače časová prodleva.
 - f. Sekvence se opakuje, dokud nedojde k ukončení sekvence z vizualizace.
 - g. Před začátkem sekvence dojde k zajetí pístu.

8.4.2. DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE

Instrumentace k úlohám je podrobně popsána v kapitole 7.1. Instrumentace pro úlohy této práce. Dále je již uveden zkrácený seznam počtu kusů potřebných pro danou úlohu.

- instrumentace na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT
 - 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) napojený na rozvod vzduchu v laboratoři C1-109
 - 1 x držák modulů Learntop-L (rampa) pro profilovou desku
 - 1 x profilová deska pro upevnění komponent
 - 1 x napájecí modul EduTrainer®
- 1 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor
- 2 x elektronický magnetický přibližovací jazýčkový senzor s upevněním na válec
- 2 x 3pinový propojovací kabel pro propojení senzoru a modulu vstupů
- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H
- 1 x napájecí kabel pro FMT
- 1 x počítač nebo notebook
- 1 x síťový ethernetový propojovací kabel
- 1 x záslepka QSC-10H
- vzduchové hadice různých rozměrů a pneumatické armatury typu hadice-hadice pro pneumatické propojení komponentů
 - 1 x 10mm hadice, 2 x 8mm hadice, 3 x 6mm hadice, 2 x 4mm hadice, 1 x QS-10-6, 2 x QS-8-6, 2 x QS-6-4

8.4.3. NÁVOD – ŘEŠENÍ

NÁVOD

Bloky časovačů v ST v softwarovém prostředí CODESYS

Bloky časovačů jsou předdefinovány ve standardní knihovně softwarového prostředí CODESYS, která je přítomná defaultně po instalaci a v každém nově založeném projektu. Můžeme je najít otevřením správce knihoven (Library Manager) ve struktuře projektu. Pokud je dále kliknuto na standardní knihovnu, na složku "Timer" a na jednotlivé časovače, je možné nahlédnout v jednotlivých záložkách na jejich I/O, grafické zobrazení a dokumentaci. Toto je zobrazeno na Obr. 103. Studentům je doporučeno prostudování těchto záložek u všech časovačů.

The screenshot shows the Library Manager interface. The top pane lists various libraries, with 'Standard = Standard, 3.5.12.0 (System)' selected. The bottom pane shows the 'Timer' folder expanded, with 'TON' selected. The right pane displays the documentation for the 'TON (FB)' block, including its function block name, description, example code, timing diagram, and I/O table.

TON (FB)
FUNCTION_BLOCK TON
Implements a timer with a turn-on delay

```
(* Example declaration *)  
TONInst : TON ;  
  
(* Example in ST *)  
TONInst(IN := VarBOOL1, PT:= T#5s);  
VarBOOL2 := TONInst.Q;
```

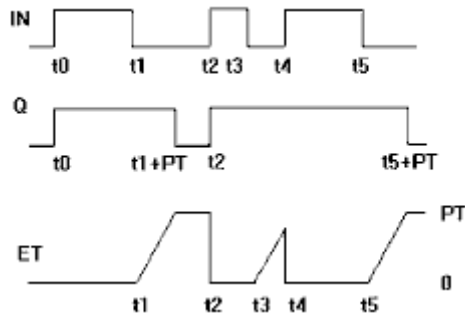
The timing diagram shows three signals over time from t_0 to t_5 . The input IN is a square wave with rising edges at t_0, t_1, t_2, t_3, t_4 and falling edges at t_1, t_2, t_3, t_4 . The output Q is a square wave that starts at $t_0 + PT$ and remains high until the next falling edge of IN . The elapsed time ET starts at t_0 and increases linearly until the next falling edge of IN , where it resets to zero.

Scope	Name	Type	Comment
Input	IN	BOOL	Rising edge: starts delay counter Falling edge: resets delay counter
	PT	TIME	Time for the delay counter [ms]
Output	Q	BOOL	FALSE if IN is FALSE TRUE if IN is TRUE and delay time PT elapsed
	ET	TIME	Elapsed time since rising edge at IN

Obr. 103 Umístění časovačů ve standardní knihovně a náhled do jejich dokumentace

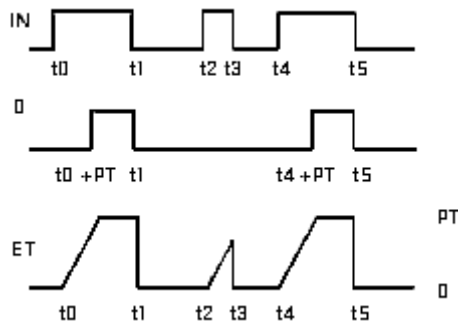
Ve standardní knihovně jsou k dispozici tři různé bloky časovačů: TOF, TON a TP.

Časovač TOF, zpoždovač sestupné hrany, pracuje tak, že po přivedení náběžné hrany na IN je nastaven výstupní signál Q na jedničkovou. Po přivedení sestupné hrany na IN čeká časovač přesně určenou dobu PT, než uvede výstup Q do nulové hodnoty. Tento časovač pracuje po celou dobu se vstupem IN, kdy náběžná hrana na IN vyvolá reset časovače. Pro ilustraci vzájemných vztahů mezi vstupy a výstupy časovače TOF jsou na Obr. 104 vyneseny průběhy hodnot IN (vstupní BOOL), Q (výstupní BOOL) a ET (průběh časovače) s horní hodnotou PT (předem určený čas zpoždění).



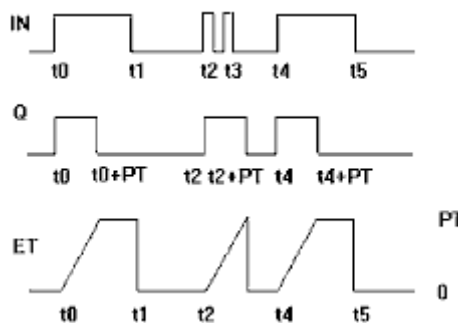
Obr. 104 Funkce časovače TOF (z dokumentace v prostředí CODESYS)

Časovač TON, zpoždovač náběžné hrany, pracuje tak, že po přivedení náběžné hrany na IN čeká předem stanovený čas PT, než je vstup IN převeden na impulsní výstup Q. Výstup Q vždy závisí na hodnotě vstupu. Se sestupnou hranou na vstupu je časovač resetován. Pro ilustraci vzájemných vztahů mezi vstupy a výstupy časovače TON jsou na Obr. 105 zobrazeny průběhy hodnot IN (vstupní BOOL), Q (výstupní BOOL) a ET (průběh časovače) s horní hodnotou PT (předem určený čas zpoždění).



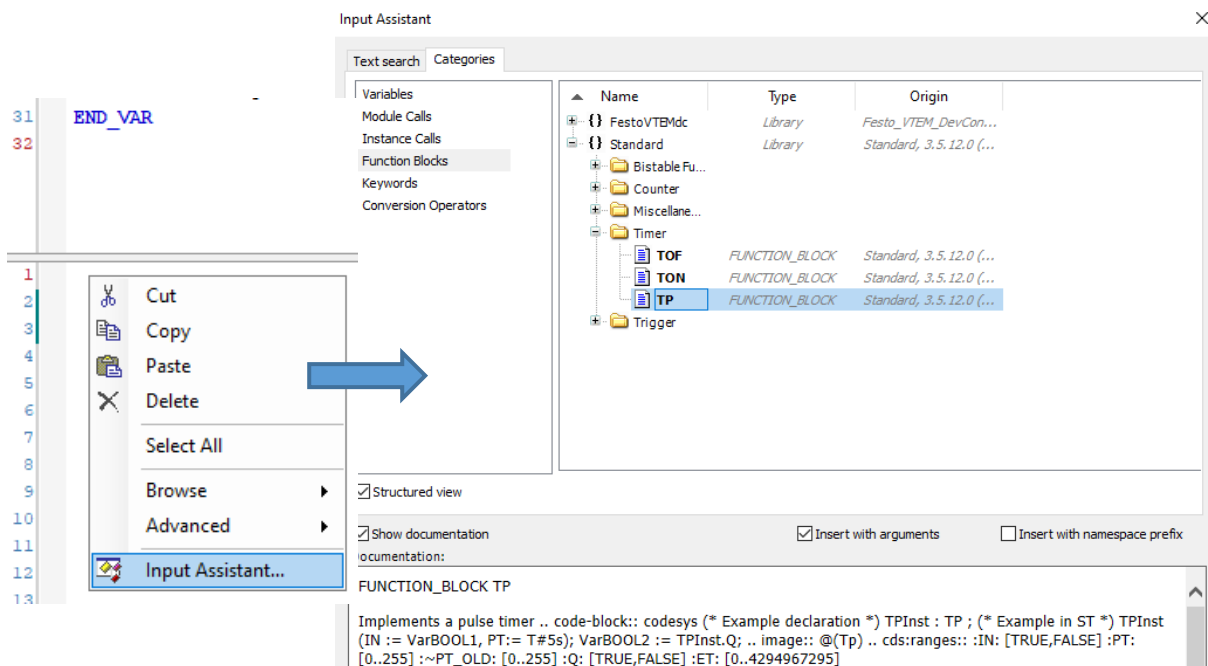
Obr. 105 Funkce časovače TON (z dokumentace v prostředí CODESYS)

Časovač TP, impulsní časovač, pracuje tak, že po přivedení náběžné hrany na IN generuje výstupní impuls Q po přesně určenou dobu od detekce náběžné hrany. Impuls Q nelze po započetí přerušit a nezávisí na průběhu IN do té doby, než je u impuls konce. Pro ilustraci vzájemných vztahů mezi vstupy a výstupy časovače TP jsou na Obr. 106 zobrazeny průběhy hodnot IN (vstupní BOOL), Q (výstupní BOOL) a ET (průběh časovače) s horní hodnotou PT (předem určený čas zpoždění).

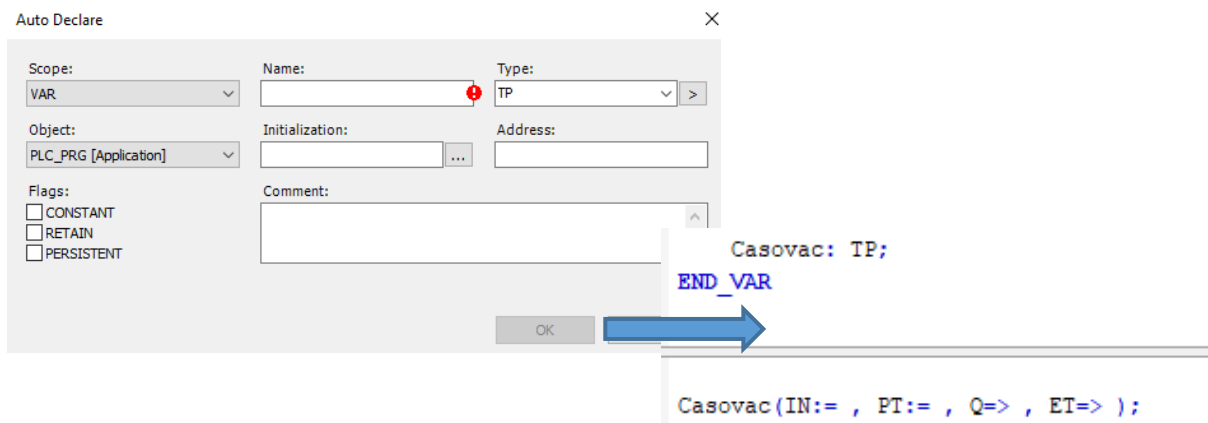


Obr. 106 Funkce časovače ST (z dokumentace v prostředí CODESYS)

Strukturu (funkční blok) časovače lze vložit do ST kódu jednoduše pomocí tzv. "Input Assistant" (asistent pro vkládání struktur). Pravým kliknutím do okna textového editoru ST kódu v programu PLC_PRG je možné otevřít nabídku a vybrat "Input Assistant". Po výběru je otevřeno okno "Input Assistant". V tomto okně je možné vybrat daný časovač ze složky standardních funkčních bloků (Obr. 107). Je zde také možné znovu nahlédnout do dokumentace jednotlivých funkčních bloků. Po kliknutí na "OK" pro přidání daného bloku se objeví okno pro autodeklaraci tohoto bloku, kde je povinným oknem pouze jméno časovače. Po kliknutí na "OK" se automaticky přidá deklarace časovače do deklaračního editoru. Do textového editoru se automaticky přidá ST šablona časovače, do které je již pouze nutné doplnit hodnoty (Obr. 108).



Obr. 107 Otevření okna "Input Assistant" z textového editoru a výběr bloku časovače TP



Obr. 108 Automatická deklarace časovače TP a vložení jeho ST struktury do textového editoru

ŘEŠENÁ ÚLOHA

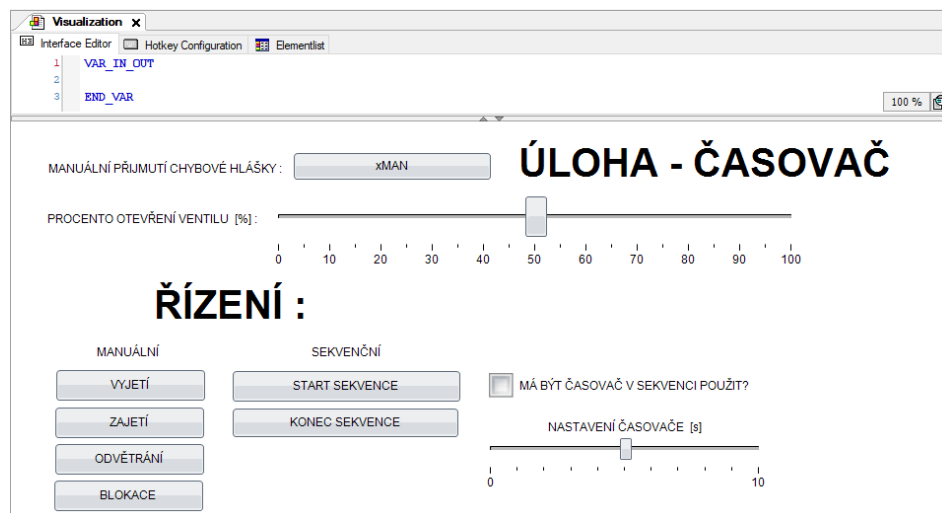
V řešení Úloze 4 byl použit blok časovače TON. Pro tuto úlohu jsou proměnné sloužící pro ovládání pohybů pneumatického válce přesunuty do lokálních proměnných programu PLC_PRG, které jsou zobrazeny na Obr. 109. V globálních proměnných jsou deklarované pouze proměnné, které jsou spojeny s blokem FB_ValveControl (Obr. 110).

```
PLC_PRG x
1 PROGRAM PLC_PRG
2 VAR
3 // proměnná stavu
4 Stav : INT;
5 // procento otevření ventilu
6 ProcentoOtevreniVentilu : INT;
7
8 // proměnné pro ovládání pohybů z vizualizace
9 // blokáce
10 BL : BOOL ;
11 // vyjetí
12 AD : BOOL ;
13 // zajetí
14 RE : BOOL ;
15 // odvětrání
16 VE : BOOL ;
17 // start sekvence
18 SeStart : BOOL ;
19 // konec sekvence
20 SeStop : BOOL ;
21
22 // časovač a jeho proměnné
23 TimerSet : INT;
24 TimerTime : TIME;
25 TimerGo : BOOL;
26 Timer : TON;
27 TimerActive : BOOL;
28
29 //other variables
30 VizuDvoblokatorVstupu : BOOL;
31 END_VAR
```

Obr. 109 Lokální proměnné PLC_PRG řešené Úlohy 4

```
GVL x
1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3
4 V1_ValveControl : FestoVTEMdc . FB_ValveControl ;
5
6 Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;
7
8 V1_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
9 V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
10
11 V1_ActualValveMode : INT ;
12 V1_ActualAppState : BYTE ;
13
14 V1_Enable : BOOL ;
15 V1_Mode : BYTE ;
16 V1_AppC : BYTE ;
17 V1_App0 : BYTE ;
18 V1_Set1 : INT ;
19 V1_Set2 : INT ;
20 V1_AV1 : INT ;
21 V1_AV2 : INT ;
22
23 xMan : BOOL := FALSE ;
24
25 END_VAR
```

Obr. 110 Globální proměnné řešené Úlohy 4



Obr. 111 Vizualizace řešené Úlohy 4

Vizualizace k řešení úloze 4 je na Obr. 111. Jsou zde již z předchozích úloh známá tlačítka manuálního a sekvenčního ovládání. Obsahuje i tlačítko pro manuální přijetí chyb "xMAN". Přijetí chyb je ale ošetřeno i v kódu ve "stavu" 10. Dále je zde posuvník (Slider), na kterém je nastavováno procento otevření přívodu vzduchu ("opening degree supply air flow"). Tento posuvník je propojen s proměnnou ProcentoOtevreniVentilu, která je použita v kódu PLC_PRG (Obr. 112) pro nastavení hodnoty globální proměnné GVL.V1_Set2.

Nastavení doby časovače je prováděno z vizualizace pomocí posuvníku (Slider), na kterém je možné nastavit hodnoty zde např. od 0 do 10 s. Posuvník spojený s časovačem je propojen s proměnnou TimerSet. Proměnná TimerSet je pak ve "stavu" 200 použita pro nastavení proměnné TimerTime, která určuje zpoždění časovače PT. Použití časovače v programu je podmíněno aktivací zaškrťovacího políčka (Checkbox) nad posuvníkem. Zaškrťovací políčko je propojeno s proměnnou TimerActive. Tato proměnná podmiňuje v kódu ve "stavu" 200 přechod do "stavu" 210, který podmiňuje start časovače. Zaškrťovací políčko a posuvníky nejsou nutnými součástmi. Jimi nastavované hodnoty mohou být nastaveny "napevno" v kódu ST.

```

1  POU( ) ;
2  Timer(IN := TimerGo, PT := TimerTime);
3
4  CASE Stav OF
5  0 :
6      Stav := 10;
7
8  10:
9      IF (GVL.Hex_Switch = 2 ) THEN
10         GVL.Vl_Set2:= ProcentoOtevreniVentilu*100;
11         GVL.Vl_Enable := TRUE;
12         GVL.Vl_Mode := 62 ;
13         Stav := 20;
14     ELSE
15         GVL . Vl_Enable := FALSE;
16         Stav := 10;
17     END_IF
18
19  20 :
20     GVL . Vl_Mode := 6 ;
21     GVL . Vl_AppC := 3 ;
22     Stav := 100;
23
24  100:
25     IF AD THEN
26         GVL.Vl_AppC := 1 ;
27     END_IF
28     Stav := 120 ;
29  120:
30     IF RE THEN
31         GVL.Vl_AppC := 2 ;
32     END_IF
33     Stav := 140 ;
34  140:
35     IF VE THEN
36         GVL.Vl_AppC := 3 ;
37     END_IF
38     Stav := 160 ;
39  160:
40     IF NOT ( GVL.Hex_Switch = 2 ) THEN
41         GVL.Vl_Enable := FALSE ;
42         Stav:= 10;
43     ELSE
44         GVL.Vl_Set2:= ProcentoOtevreniVentilu*100;
45         Stav := 180 ;
46     END_IF
47  180:
48     IF (GVL.Vl_ActualValveMode = 61) THEN
49         Stav := 10;
50     ELSE
51         Stav := 190;
52     END_IF
53
54  190:
55     IF (SeStart = TRUE) THEN
56         VizuBlokatorVstupu := TRUE;
57         GVL . Vl_AppC := 2 ;
58         Stav := 195;
59     ELSE
60         Stav := 100;
61     END_IF
62
63  195:
64     IF (GVL.Vl_ActualAppState = 1) THEN
65         Stav := 200;
66     ELSE
67         Stav := 195;
68     END_IF
69
70  200:
71     TimerTime := REAL_TO_TIME (TimerSet*1000);
72     IF (GVL.Vl_ActualAppState = 4 ) THEN
73         GVL . Vl_AppC := 2 ;
74         IF TimerActive THEN
75             Stav := 210;
76         ELSE
77             Stav := 200;
78         END_IF
79     END_IF
80     IF (GVL.Vl_ActualAppState = 1) THEN
81         GVL.Vl_AppC := 1 ;
82         IF TimerActive THEN
83             Stav := 210;
84         ELSE
85             Stav:= 200;
86         END_IF
87     END_IF
88     IF (SeStop = TRUE) THEN
89         VizuBlokatorVstupu := FALSE;
90         Stav:= 10;
91     END_IF
92     IF NOT (GVL . Hex_Switch = 2) THEN
93         GVL.Vl_Enable := FALSE ;
94         Stav:= 10;
95     END_IF
96
97  210:
98     TimerGo := TRUE;
99     IF (Timer.ET = Timer.PT) THEN
100         Stav := 220;
101     ELSE
102         Stav := 210;
103     END_IF
104
105  220:
106     TimerGo := FALSE;
107     Stav := 200;
108 END_CASE
109
110 IF BL THEN
111     GVL . Vl_AppC := 0 ;
112     Stav := 100 ;
113 END_IF

```

Obr. 112 ST kód programu PLC_PRG řešené Úlohy 4

8.4.4. KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Otázka 1:

Jak jsou označeny tři předdefinované struktury (bloky) časovačů ze standardní knihovny softwarového prostředí CODESYS?

Odpověď 1:

TOF, TON, TP

Otázka 2:

Popište funkci impulzního časovače (pulse timer) a uveďte jeho označení. Jaké jsou jeho vstupy a výstupy a jejich význam.

Odpověď 2:

Značka impulzního časovače je TP. Po přivedení náběžné hrany na IN realizuje na výstupu Q pulz konstantní délky PT.

IN (vstup) – náběžná hrana zapíná časovač a nastavuje Q na hodnotu TRUE

PT (vstup) – časová délka výstupního pulzu

Q (výstup) – výstupní pulz nastaven na TRUE po čas PT po detekci náběžné hrany

ET (výstup) – čas uplynulý od zapnutí časovače, po dosažení PT je konstantní

Otázka 3:

Popište funkci zpoždovače náběžné hrany (timer with a turn-on delay) a uveďte jeho označení. Jaké jsou jeho vstupy a výstupy a jejich význam.

Odpověď 3:

Značka zpoždovače náběžné hrany je TON. Po přivedení náběžné hrany na vstupu IN je realizována časová prodleva, než je náběžná hrana realizována na výstupu.

IN (vstup) – náběžná hrana zapíná časovač, sestupná hrana resetuje časovač

PT (vstup) – časová hodnota zpoždění časovače

Q (výstup) – nastaven na FALSE pokud IN je FALSE, nastaven na TRUE pokud IN je TRUE a zároveň uběhl čas PT

ET (výstup) – čas uplynulý od detekce náběžné hrany na IN

Otázka 4:

Popište funkci zpoždovače sestupné hrany (timer with a turn-off delay) a uveďte jeho označení. Jaké jsou jeho vstupy a výstupy a jejich význam.

Odpověď 4:

Značka zpoždovače sestupné hrany je TOF. Po detekci sestupné hrany na vstupu IN je realizována časová prodleva, než je sestupná hrana realizována na výstupu Q.

IN (vstup) – sestupná hrana zapíná časovač, náběžná hrana resetuje časovač

PT (vstup) – časová hodnota zpoždění časovače

Q (výstup) – nastaven na TRUE, pokud IN je TRUE, nastaven na FALSE pokud IN je FALSE a zároveň uběhl čas PT

ET (výstup) – čas uplynulý od detekce náběžné hrany na IN

Otázka 5:

Která aplikace Motion App byla použita pro tuto úlohu a proč?

Odpověď 5:

Byla použita aplikace Motion App č. 6 – ECO drive (Pohon ECO), protože umožňuje využití koncových senzorů.

8.5. ÚLOHA 5 : ČÍTAČ

Úloha 5 navazuje na Úlohu 3 tak, že do sekvenčního provozu se přidává čítač. Sekvenční provoz je zde omezen počtem cyklů. V této úloze je použita Motion App č.6 – ECO drive (Pohyb ECO), která využívá koncových senzorů polohy.

8.5.1. ZADÁNÍ ÚLOHY

- 1) Proveďte fyzické sestavení úlohy stejně jako v Úloze 3.
- 2) V softwarovém prostředí CODESYS založte nový projekt CPX-CEC a proveďte jeho přípravu pro aplikaci FMT jako v předchozích úlohách.
- 3) Prostudujte návod v kapitole 8.5.3., který se týká použití bloků čítačů v jazyku ST v softwarovém prostředí CODESYS.
- 4) Naprogramujte program PLC_PRG v jazyku ST a vytvořte vizualizaci tak, aby splňovaly následující podmínky:
 - a. Ovládací prvky by měly umožňovat manuální i sekvenční ovládání.
 - b. Manuální ovládání má umožňovat vyjetí a zjetí pístu, odvětrání portů a blokování portů.
 - c. Sekvenční ovládání má umožňovat zahájení a ukončení sekvence.
 - d. Sekvence znamená maximální vyjetí pístu a poté úplné zjetí pístu.
 - e. Po zahájení sekvenčních pohybů je proveden určitý počet sekvencí vyjetí a zjetí – do programu je tento požadavek zakomponován pomocí čítače.
 - f. Před začátkem sekvence dojde k zjetí pístu.
 - g. Sekvence je ukončena buď provedením požadovaného počtu opakování, nebo předčasně pomocí tlačítka z vizualizace.

8.5.2. DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE

Instrumentace k úlohám je podrobně popsána v kapitole 7.1. Instrumentace pro úlohy této práce. Dále je již uveden zkrácený seznam počtu kusů potřebných pro danou úlohu.

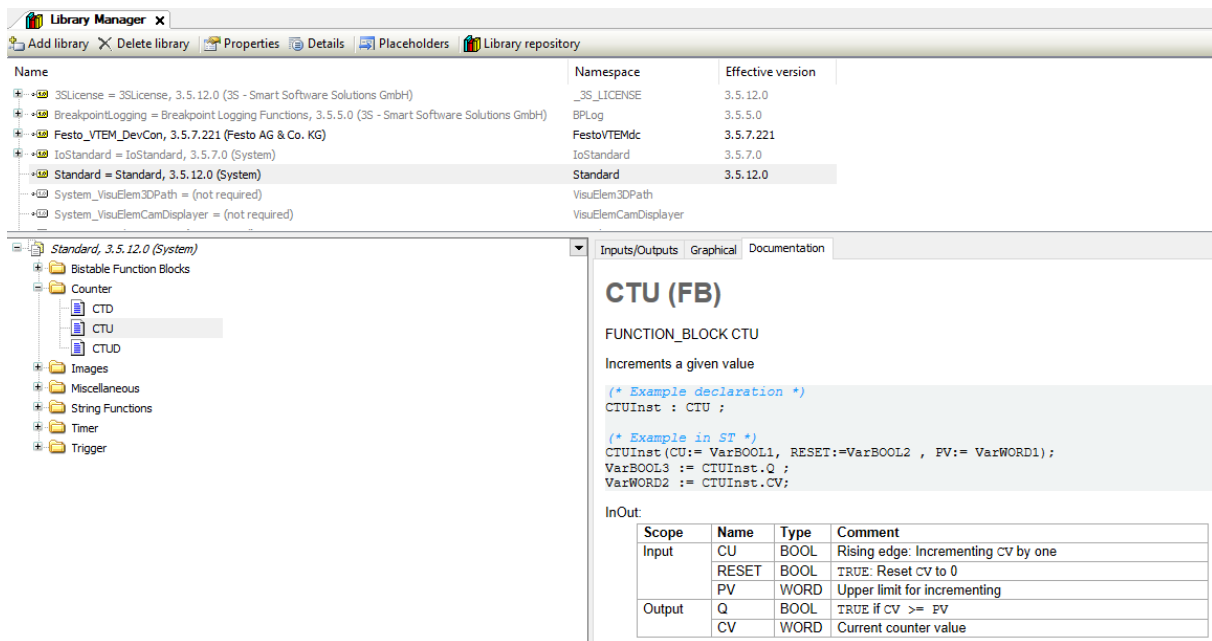
- instrumentace na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT
 - 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) napojený na rozvod vzduchu v laboratoři C1-109
 - 1 x držák modulů Learntop-L (rampa) pro profilovou desku
 - 1 x profilová deska pro upevnění komponent
 - 1 x napájecí modul EduTrainer®
- 1 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor
- 2 x elektronický magnetický přibližovací jazýčkový senzor s upevněním na válec
- 2 x 3pinový propojovací kabel pro propojení senzoru a modulu vstupů
- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H
- 1 x napájecí kabel pro FMT
- 1 x počítač nebo notebook
- 1 x síťový ethernetový propojovací kabel
- 1 x záslepka QSC-10H
- vzduchové hadice různých rozměrů a pneumatické armatury typu hadice-hadice pro pneumatické propojení komponentů
 - 1 x 10mm hadice, 2 x 8mm hadice, 3 x 6mm hadice, 2 x 4mm hadice, 1 x QS-10-6, 2 x QS-8-6, 2 x QS-6-4

8.5.3. NÁVOD – ŘEŠENÍ

NÁVOD

Bloky čítačů v jazyku ST v softwarovém prostředí CODESYS

Bloky čítačů jsou předdefinovány ve standardní knihovně softwarového prostředí CODESYS, která je přítomná defaultně po instalaci a v každém novém založeném projektu. Můžeme je najít otevřením správce knihoven (Library Manager) ve struktuře projektu. Pokud je dále kliknuto na standardní knihovnu, na složku "Counter" a na jednotlivé čítače, je možné nahlédnout v jednotlivých záložkách na jejich I/O, grafické zobrazení a dokumentaci. Toto je zobrazeno na Obr. 113. Studentům je doporučeno prostudování těchto záložek pro všechny čítače.



Obr. 113 Umístění čítačů ve standardní knihovně a náhled do jejich dokumentace

Ve standardní knihovně jsou k dispozici tři různé bloky čítačů: CTD, CTU a CTUD.

Čítač CTD, zpětný čítač, pracuje tak, že je od počáteční hodnoty čítače při každé předem definované události odečtena jednička. Toto probíhá, dokud není aktuální hodnota čítače rovna nule. Po dosažení této hodnoty je výstup čítače nastaven na hodnotu TRUE.

Čítač CTU, dopředný čítač, pracuje tak, že je k nulové počáteční hodnotě čítače při každé předem definované události přičtena jednička. Toto probíhá, dokud není aktuální hodnota čítače rovna nebo větší než předem stanovená hodnota limitu čítače. Po dosažení této hodnoty je výstup čítače nastaven na hodnotu TRUE.

Čítač CTUD, kombinovaný čítač, je kombinací předchozích čítačů. Jsou definovány dvě rozdílné události, které ovlivňují aktuální stav čítače. Jedna událost přičítá jedničku, druhá událost odečítá jedničku. Hodnota čítače může být buď resetována na nulu, nebo nastavena na předem definovanou hodnotu pro odečítání pomocí různých vstupů. Čítač má také dva výstupy typu BOOL. Jeden, který je nastaven na hodnotu TRUE, pokud je dosaženo nuly při odečítání, a druhý, který je nastaven na hodnotu TRUE, pokud je dosaženo předem stanovené limitní hodnoty při přičítání.

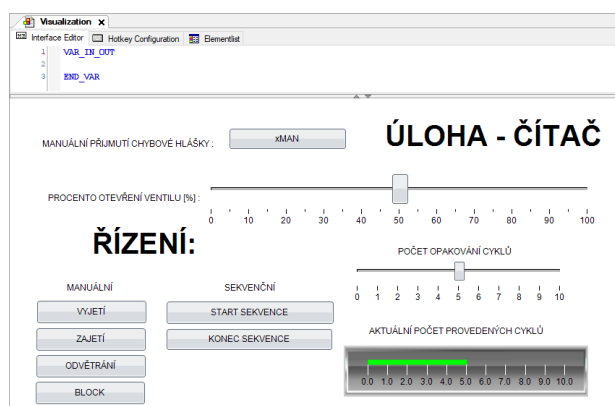
Vstupy a výstupy jednotlivých čítačů a jejich funkce jsou popsány v prostředí CODESYS v dokumentaci k jednotlivým blokům, kde si je studenti prostudují.

Strukturu (funkční blok) čítače lze jednoduše vložit do ST kódu pomocí tzv. "Input Assistant" (asistent pro vkládání struktur). Tento proces je pro blok časovače popsán v kapitole 8.4.3. této práce. Postup pro vložení bloku čítače je stejný, pouze výběr bloku probíhá v okně "Input Assistant" ze složky "Counter" (čítač).

ŘEŠENÁ ÚLOHA

V řešené úloze 5 je použit blok čítače CTU. Stejně jako v úloze 4 jsou zde v globálních proměnných (Obr. 114) ponechány pouze proměnné související s funkčním blokem FB_ValveControl. Ostatní proměnné jsou deklarovány jako lokální proměnné v deklaračním okně ST programu PLC_PRG (Obr. 116).

Vizualizace k řešené úloze 5 je na Obr. 115. Tlačítka a posuvník (Slider) pro otevření ventilu přívodu vzduchu jsou řešeny stejně jako v řešené Úloze 4. Nastavení počtu cyklů, které jsou automaticky provedeny po aktivaci sekvenčního provozu, probíhá ve vizualizaci pomocí posuvníku (Slider). Tento posuvník je propojen s proměnnou PocetCyklu, která pak slouží pro nastavení hodnoty limitu PV čítače. Dále je ve vizualizaci použit element zobrazení hodnoty na liště (BarDisplayImage) pro zobrazení aktuální hodnoty čítače, tedy počtu již provedených cyklů. Element je propojen s proměnnou AktualniStavCitace, která je získána jako výstup CV (aktuální hodnota čítače) bloku čítače CTU.



Obr. 115 Vizualizace řešené Úlohy 5

```

1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3
4   V1_ValveControl : FestoVTEMc . FB_ValveControl ;
5
6   Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;
7
8   V1_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
9   V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
10
11  V1_ActualValveMode : INT ;
12  V1_ActualAppState : BYTE ;
13
14  V1_Enable : BOOL ;
15  V1_Mode : BYTE ;
16  V1_AppC : BYTE ;
17  V1_App0 : BYTE ;
18  V1_Set1 : INT ;
19  V1_Set2 : INT ;
20  V1_AV1 : INT ;
21  V1_AV2 : INT ;
22
23  xMan : BOOL := FALSE ;
24
25 END_VAR

```

Obr. 114 Globální proměnné řešené Úlohy 5

```

1 PROGRAM PLC_PRG
2 VAR
3   // proměnná stavu
4   Stav : INT;
5   // procento otevření ventilu
6   ProcentoOtevreni : INT;
7
8   // proměnné pro kontrolu pohybu z vizualizace
9   // blokování
10  BL : BOOL ;
11  // vyjetí
12  AD : BOOL ;
13  // zajetí
14  RE : BOOL ;
15  // odvětrání
16  VE : BOOL ;
17  // start sekvence
18  SeStart : BOOL ;
19  // konec sekvence
20  SeStop : BOOL ;
21
22  // čítač a proměnné pr práci s ním
23  PocetCyklu : INT;
24  // pri nabezne hrane promenne CitacStart dojde k +1
25  CitacStart : BOOL;
26  CitacReset : BOOL;
27  Counter : CTU ;
28  AktualniStavCitace : INT ;
29
30  // další proměnné - blokace vstupu ve vizualizaci
31  VizuBlokatorVstupu : BOOL;
32 END_VAR

```

Obr. 116 Lokální proměnné deklarované v PLC_PRG řešené Úlohy 5

Kód ST programu PLC_PRG řešené Úlohy 5 je k nahlédnutí na Obr. 117.

```

1 PLC_PRG x
2
3 Counter(CU := CitacStart, RESET := CitacReset, FV := INT_TO_WORD (PocetCyklu) );
4 AktualniStavCitace := WORD_TO_INT (Counter.CV) ;
5
6 CASE Stav OF
7 0 :
8
9
10 10 :
11 IF (GVL.Hex_Switch = 2 ) THEN
12   GVL.VI_Set2:= ProcentoOtevreni*100;
13   GVL.VI_Enable := TRUE;
14   GVL.VI_Mode := 62 ;
15   CitacReset := FALSE;
16   Stav := 20;
17 END_IF
18
19
20 20 :
21 GVL.VI_Mode := 6 ;
22 GVL.VI_AppC := 3 ;
23 Stav := 100;
24
25 100 :
26 IF AD THEN
27   GVL.VI_AppC := 1 ;
28   Stav := 120 ;
29 ELSE
30   Stav := 120;
31 END_IF
32
33 120 :
34 IF RE THEN
35   GVL.VI_AppC := 2 ;
36   Stav := 140 ;
37 ELSE
38   Stav :=140;
39 END_IF
40
41 140 :
42 IF VE THEN
43   GVL.VI_AppC := 3 ;
44   Stav := 160 ;
45 ELSE
46   Stav := 160;
47 END_IF
48
49 160 :
50 IF NOT ( GVL.Hex_Switch = 2 ) THEN
51   GVL.VI_Enable := FALSE ;
52   Stav:= 10;
53 ELSE
54   GVL.VI_Set2:= ProcentoOtevreni*100;
55   Stav := 180 ;
56 END_IF
57
58 180 :
59 IF ( GVL.VI_ActualValveMode = 61 ) THEN
60   Stav := 10;
61 ELSE
62   Stav := 190;
63 END_IF
64
65 190 :
66 IF ( SeStart = TRUE) THEN
67   VizniBlokatorVstupu := TRUE;
68   GVL . VI_AppC := 2 ;
69   Stav := 185;
70 ELSE
71   Stav := 100;
72 END_IF
73
74 195 :
75 IF (GVL.VI_ActualAppState = 1) THEN
76   Stav := 200;
77 ELSE
78   Stav := 195;
79 END_IF
80
81 200 :
82 IF (GVL.VI_ActualAppState = 4 ) THEN
83   CitacStart := TRUE;
84   GVL.VI_AppC := 2 ;
85   Stav := 200;
86 END_IF
87
88 200 :
89 IF (GVL.VI_ActualAppState = 1) THEN
90   CitacStart := FALSE;
91   GVL . VI_AppC := 1 ;
92   Stav := 200;
93 END_IF
94
95 200 :
96 IF (SeStop = TRUE OR (Counter.CV = INT_TO_WORD (PocetCyklu) AND GVL.VI_ActualAppState = 1) ) THEN
97   CitacReset := TRUE;
98   VizniBlokatorVstupu := FALSE;
99   Stav := 10;
100 END_IF
101
102 END_CASE
103
104 IF BL THEN
105   GVL . VI_AppC := 0 ;
106   Stav := 100 ;
107 END_IF

```

Obr. 117 ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 5

8.5.4. KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Otázka 1:

Popište funkci dopředného čítače a uveďte jeho značku, která je užívána v prostředí CODESYS. Jaké jsou jeho vstupy a výstupy a jejich význam?

Odpověď 1:

Dopředný čítač funguje tak, že je k aktuální hodnotě čítače (počáteční hodnota 0) při předem definované události přičtena hodnota jedna, dokud není dosaženo horního limitu čítače. Poté je aktivován výstup čítače. Značka dopředného čítače je CTU.

CU (vstup) – detekce náběžné hrany zvedá hodnotu CV o 1

RESET (vstup) – pokud je TRUE, hodnota CV je vynulována

PV (vstup) – horní limit přičítání

Q (výstup) – je nastaven na hodnotu TRUE, pokud je hodnota CV \geq hodnotě PV

CV (výstup) – aktuální hodnota čítače

Otázka 2:

Popište funkci zpětného čítače a uveďte jeho značku, která je užívána v prostředí CODESYS. Jaké jsou jeho vstupy a výstupy a jejich význam?

Odpověď 2:

Zpětný čítač funguje tak, že je od aktuální hodnoty čítače (poč. hodnota definovaná vstupem) při předem definované události odečtena jednička, dokud není aktuální hodnota čítače rovna nule. Poté je aktivován výstup čítače. Značka je CTD.

CD (vstup) – při detekci náběžné hrany je hodnota CV snížena o 1

LOAD (vstup) – pokud má hodnotu TRUE, je hodnota CV nastavena na hodnotu PV

PV (vstup) – počáteční hodnota pro odečítání

Q (výstup) – nastaven na hodnotu TRUE, pokud je hodnota CV rovna nule

CV (výstup) – aktuální hodnota čítače

Otázka 3:

Popište funkci kombinovaného čítače a uveďte jeho značku, která je užívána v prostředí CODESYS. Jaké jsou jeho vstupy a výstupy a jejich význam.

Odpověď 3:

Kombinovaný čítač je kombinací dopředného a zpětného čítače. Hodnota čítače může být nastavena na nulu nebo na definovanou hodnotu. Od aktuální hodnoty čítače lze odečítat i k ní přičítat. Má dva výstupy typu BOOL, dle typu prováděných operací. Kombinovaný čítač má značku CTUD.

CU (vstup) – při detekci náběžné hrany zvyšuje hodnotu CV o 1

CD (vstup) – při detekci náběžné hrany snižuje hodnotu CV o 1

RESET (vstup) – pokud má hodnotu TRUE, resetuje hodnotu CV na nulu

LOAD (vstup) – pokud má hodnotu TRUE, nastavuje hodnotu CV na hodnotu PV

PV (vstup) – počáteční hodnota pro odečítání a zároveň horní limit přičítání

QU (výstup) – nastaven na hodnotu TRUE, pokud je hodnota CV \geq hodnotě PV

QD (výstup) – nastaven na hodnotu TRUE, pokud je hodnota CV rovna nule

CV (výstup) – aktuální hodnota čítače

8.6. ÚLOHA 6 : KOMPLEXNÍ SEKVENCE VÍCE POHONŮ

Úloha 6 kombinuje znalosti ze všech předchozích úloh a je úlohou nejkompexnější. Studenti mají vytvořit aplikaci, která zajistí jak manuální, tak sekvenční ovládání. Požadovaný sled operací zahrnuje pohyby válců, časové prodlevy (časovač) i určitý počet opakování (čítač). V této úloze je použita Motion App č.6 – ECO drive (Pohyb ECO), která využívá koncových senzorů polohy.

8.6.1. ZADÁNÍ ÚLOHY

- 1) Proveďte fyzické sestavení úlohy podle návodu v kapitole 8.6.3. této práce.
- 2) V softwarovém prostředí CODESYS založte nový projekt CPX-CEC a proveďte jeho přípravu jako v předchozích úlohách, na to pak navažte rozšířením pro dva pneumatické motory za pomoci návodu v kapitole 8.6.3. této práce.
- 3) Naprogramujte program PLC_PRG v jazyku ST a vytvořte vizualizaci pro dva pneumatické motory tak, aby splňovaly následující podmínky:
 - a. Ovládací prvky by měly umožňovat manuální i sekvenční ovládání.
 - b. Manuální a sekvenční ovládání by měla být oddělena pomocí jednotlivých režimů.
 - c. Manuální ovládání má umožňovat vyjetí a zjetí pístu, odvětrání portů a blokování portů pro oba pneumatické motory.
 - d. V sekvenčním módu má být možné zahájit a ukončit sekvenční.
 - e. Jedním provedením sekvenční se rozumí provedení zadaného sledu pohybů.
 - f. Sled pohybů je zadán vyučujícím.
 - g. Pro ukázkou je zde zadán sledu pohybů, které je realizováno v řešené úloze:

Aktuátor na první pozici je označen A, jeho vyjetí A+, jeho zjetí A-.

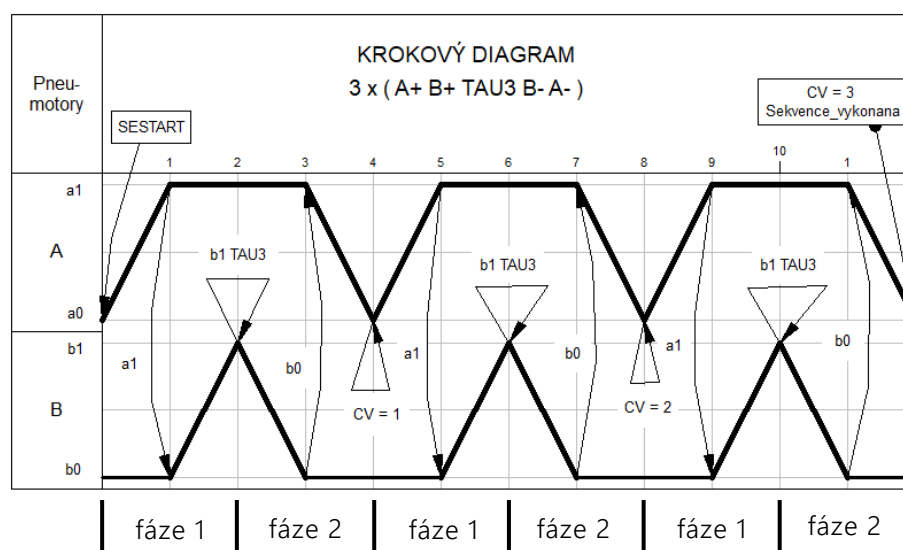
Aktuátor na druhé pozici je označen B, jeho vyjetí B+, jeho zjetí B-.

Časová prodleva realizovaná časovačem je označena τ .

ZADANÝ SLED POHYBŮ:

3 x (A+, B+ , $\tau = 3$ s, B-, A-)

KROKOVÝ DIAGRAM:



Obr. 118 Krokový diagram vytvořený v prostředí Fluidsim® s vyznačenými fázemi

8.6.2. DOPORUČENÁ INSTRUMENTACE

Instrumentace k úlohám je podrobně popsána v kapitole 7.1. Instrumentace pro úlohy této práce. Dále je již uveden zkrácený seznam počtu kusů potřebných pro danou úlohu.

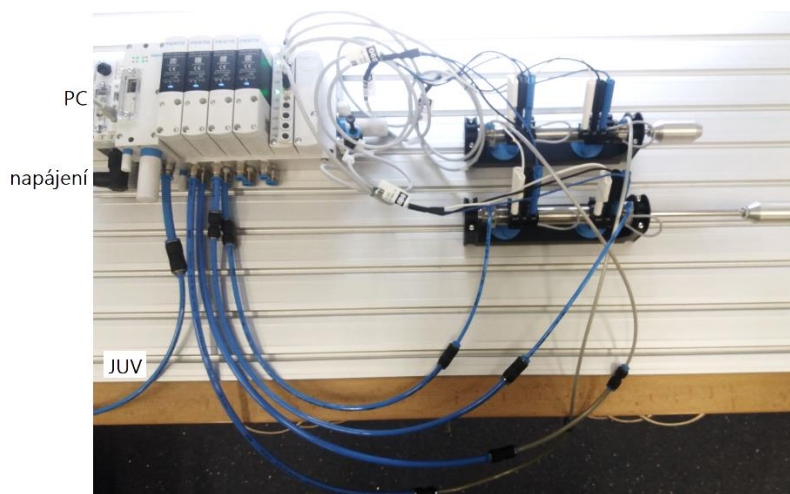
- instrumentace na pracovišti Festo Didactic v lab. C1-109 FS ČVUT
 - 1 x spouštěcí ventil s filtrem a regulací tlaku (JUV) napojený na rozvod vzduchu v laboratoři C1-109
 - 1 x držák modulů Learntop-L (rampa) pro profilovou desku
 - 1 x profilová deska pro upevnění komponent
 - 1 x napájecí modul EduTrainer®
- 2 x pneumatický přímočarý pístový dvojčinný motor
- 4 x elektronický magnetický přibližovací jazýčkový senzor s upevněním na válec
- 4 x 3pinový propojovací kabel pro propojení senzoru a modulu vstupů
- 1 x FMT v konfiguraci: VTEM-S1-27-E1-B1-Q10-U-Q8-4C-BAPSTPDLPED-DL+H
- 1 x napájecí kabel pro FMT
- 1 x počítač nebo notebook
- 1 x síťový ethernetový propojovací kabel
- 1 x záslepka QSC-10H
- vzduchové hadice různých rozměrů a pneumatické armatury typu hadice-hadice pro pneumatické propojení komponentů
 - 1 x 10mm hadice, 4 x 8mm hadice, 5 x 6mm hadice, 4 x 4mm hadice, 1 x QS-10-6, 4 x QS-8-6, 4 x QS-6-4

8.6.3. NÁVOD – ŘEŠENÍ

NÁVOD

Fyzické zapojení úlohy

Fyzické zapojení dvou pneumatických přímočarých motorů se senzory koncových poloh by mělo být provedeno tak, jak je to vyobrazeno na Obr. 119. Připojení druhého ventilu je stejné jako u prvního ventilu, až na posun pozice jeho připojení na terminálu.



Obr. 119 Fyzické zapojení Úlohy 6

Rozšíření projektu pro dva pneumatické aktuátory

Pro rozšíření projektu o jeden pneumatický aktuátor je třeba přidat do POU v jazyce CFC další funkční blok FB_ValveControl. Pro vstupy a výstupy tohoto bloku je třeba definovat globální proměnné druhého ventilu. Zde je třeba dbát hlavně správné adresace u proměnných typu ARRAY OF WORD. Správná adresace pro FMT v lab. C1-109 je následující:

```
V2_BusDataFromVTEM AT %IB7 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
```

```
V2_BusDataToVTEM AT %QB6 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
```

Tyto změny v projektu jsou zřetelně viditelné v řešení Úloze 6.

ŘEŠENÁ ÚLOHA

```
GVL x
1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR GLOBAL
3 // proměnná obsahující pozici rotačního spínače
4 Hex_Switch AT %IB0 : BYTE ;
5 // proměnné pro zapojení do FB 1. ventilu
6 V1_ValveControl : FestoVTEMdc . FB_ValveControl ;
7 V1_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
8 V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
9 V1_ActualValveMode : INT ;
10 V1_ActualAppState : BYTE ;
11 V1_Enable : BOOL ;
12 V1_Mode : BYTE ;
13 V1_AppC : BYTE ;
14 V1_AppO : BYTE ;
15 V1_Set1 : INT ;
16 V1_Set2 : INT ;
17 V1_AV1 : INT ;
18 V1_AV2 : INT ;
19 // proměnné pro zapojení do FB 2. ventilu
20 V2_ValveControl : FestoVTEMdc . FB_ValveControl ;
21 V2_BusDataFromVTEM AT %IB7 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
22 V2_BusDataToVTEM AT %QB6 : ARRAY [0..2] OF WORD ;
23 V2_ActualValveMode : INT ;
24 V2_ActualAppState : BYTE ;
25 V2_Enable : BOOL ;
26 V2_Mode : BYTE ;
27 V2_AppC : BYTE ;
28 V2_AppO : BYTE ;
29 V2_Set1 : INT ;
30 V2_Set2 : INT ;
31 V2_AV1 : INT ;
32 V2_AV2 : INT ;
33 // manuální přijetí chybové hlášky - společné pro oba bloky
34 xMan : BOOL ;
35 END_VAR
```

Obr. 120 Globální proměnné řešení Úlohy 6

```
PLC_PRG x
1 PROGRAM PLC_PRG
2 VAR
3 Krok : INT ;
4 // proměnná pro lehčí programování sekvence
5 Fase : INT ;
6 // čítač
7 Citac : CTU ;
8 Sekvence_vykonana : BOOL ;
9 // časovač
10 Casovac : TON ;
11 Cas_ubehl : BOOL ;
12 // proměnné vázané na vizualizace velkým
13 // proměnné módů
14 MANUAL : BOOL ;
15 SEKVENCE : BOOL ;
16 POJISTKA : BOOL ;
17 // start/stop sekvence
18 SESTART : BOOL ;
19 SESTOP : BOOL ;
20 // proměnné ze slideru - procento otevření air supply
21 AFC1 : INT ;
22 AFC2 : INT ;
23 // manuální ovládní ventilu 1
24 AD1 : BOOL ;
25 RE1 : BOOL ;
26 EX1 : BOOL ;
27 BL1 : BOOL ;
28 // manuální ovládní ventilu 2
29 AD2 : BOOL ;
30 RE2 : BOOL ;
31 EX2 : BOOL ;
32 BL2 : BOOL ;
33 END_VAR
```

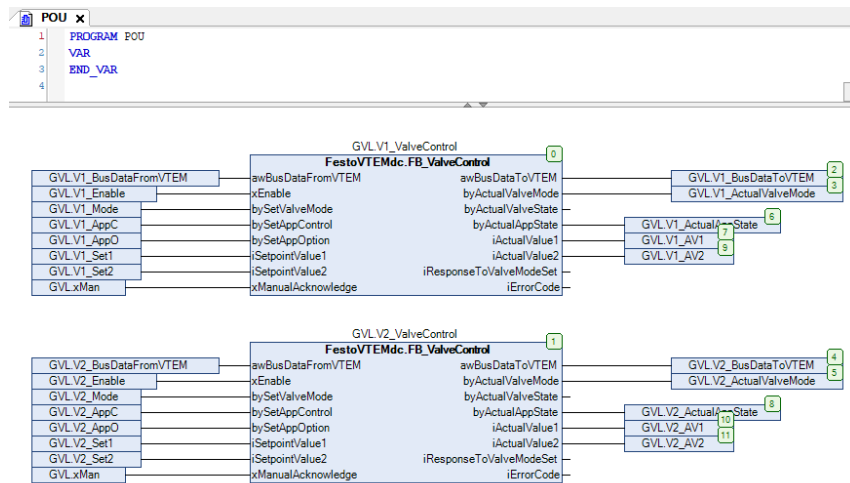
Obr. 121 Lokální proměnné v programu PLC_PRG řešení Úlohy 6

Na Obr. 120 je vidět rozdělení globálních proměnných řešení Úlohy 6 na proměnné náležící jednotlivým ventilům a jim společné proměnné HexSwitch a xMan. Na Obr. 121 jsou pak znázorněny lokální proměnné programu PLC_PRG, kde je také vidět duplikace proměnných sloužících k ovládní prvního pneumatického aktuátoru.

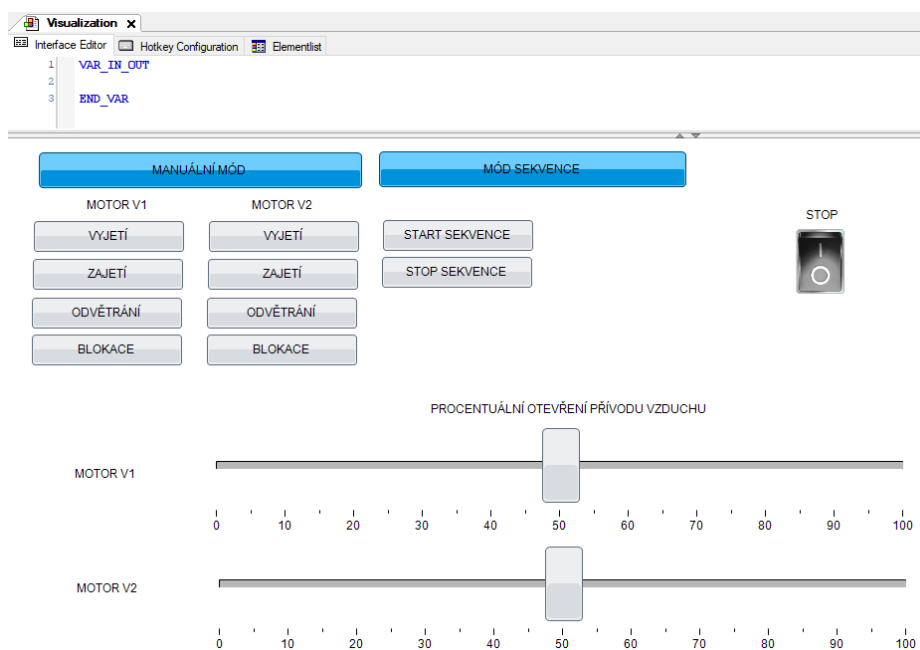
Na Obr. 122 je POU v jazyce CFC, kde lze vidět dva funkční bloky, které sdílí pouze jednu proměnnou, a to GVL.xMan, jejíž náběžná hrana slouží k přijetí neaktivních chyb na obou ventilech zároveň.

Obr. 123 obsahuje vizualizaci k řešení úloze 6. Tlačítka manuálního a sekvenčního ovládní jsou vyřešená již známým způsobem. Navíc jsou zde tlačítka pro aktivaci a deaktivaci manuálního a sekvenčního módu. Tato jsou propojena s proměnnými "MANUAL" a "SEKVENCE". Ve vlastnostech prvku je ale jejich propojení s proměnnými na rozdíl od ostatních tlačítek realizováno jako tzv. "Toggle". Kliknutím na tlačítko se proměnná typu BOOL přenastaví vždy na opačnou hodnotu než tu, ve které se nachází.

Ve vizualizaci je také umístěn přepínač, který je označený "STOP". Pokud je přepínač v horní poloze (poloha 1), jsou oba ventily přepnuty do nefunkčního stavu. Dokud není přepínač přepnut na dolní polohu (poloha 0), nelze ventily ovládat.



Obr. 122 Funkční bloky FB_ValveControl v řešení Úlože 6



Obr. 123 Vizualizace řešení Úlohy 6

Na Obr. 124 je ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 6. Přepínání mezi jednotlivými módy ovládání je realizováno pomocí "stavů" struktury CASE. V programu je též definováno, že v jeden čas může být aktivní pouze jeden mód ovládání. Tzn., před přepnutím manuálního módu na sekvenční je třeba vypnout mód manuální a naopak. Pro sekvenci byl využit koncept fází, který by studenti měli znát z předchozího studia. Je to právě ve složitějších úlohách, jako je tato, kde vynikne individuální přístup programátora k řešení úlohy.

```

1  POW ( ) ;
2  // definice bloků časovače a čítače
3  Citac(
4  CU:= (GVL.V1_ActualAppState = 1 AND Faze = 2),
5  RESET:=(SESTOP OR (NOT GVL.Hex_Switch =2)
6  OR Sekvence_vykonana) ,
7
8  FV:= 3 ,
9  Q => Sekvence_vykonana ,
10 CV=> ) ;
11 Casovac (INI:= (GVL.V2_ActualAppState = 4 AND Faze = 2),
12 FT:= T#3S , Q=> Cas_ubehl , ET=> ) ;
13 // zabraňa proti současněmu zapnutí obou módů
14 IF MANUAL THEN
15 SEKVENCE := FALSE;
16 END_IF
17 IF SEKVENCE THEN
18 MANUAL := FALSE;
19 END_IF
20 // safety pojistka - vypnutí pohybu
21 IF POJISTKA THEN
22 SEKVENCE := FALSE;
23 MANUAL := FALSE;
24 GVL.V1_Enable := FALSE ;
25 GVL.V2_Enable := FALSE ;
26 Krok := 10;
27 END_IF
28
29 CASE Krok OF
30 0 :
31 // nastavení dané aplikace
32 GVL.V1_Mode := 6;
33 GVL.V2_Mode := 6;
34 Krok := 10;
35
36 10 :
37 // kontrola a odstranění chybových hlášek
38 IF (GVL.V1_ActualValveMode = 61) THEN
39 GVL.xMán := TRUE;
40 END_IF
41
42 IF (GVL.V2_ActualValveMode = 61) THEN
43 GVL.xMán := TRUE;
44 END_IF
45
46 // kontrola fyzického rotačního přepínače
47 IF (GVL . Hex_Switch = 2 AND NOT POJISTKA ) THEN
48 GVL . V1_Enable := TRUE ;
49 GVL . V2_Enable := TRUE ;
100
50 // nastavení hodnoty otevření air
51 //supply die vizualizace
52 GVL.V1_Set2 := AFC1*100 ;
53 GVL.V2_Set2 := AFC2*100 ;
54 Krok := 15;
55
56 END_IF
57
58 IF NOT (GVL . Hex_Switch = 2 ) THEN
59 GVL . V1_Enable := FALSE ;
60 GVL . V2_Enable := FALSE ;
61 Krok:=10;
62 END_IF
63
64 GVL.xMán := FALSE;
65 Krok := 20;
66
67 20:
68 IF MANUAL THEN
69 // podmínky vyjítí
70 IF AD1 THEN
71 GVL.V1_AppC := 1 ;
72 END_IF
73 IF AD2 THEN
74 GVL.V2_AppC := 1 ;
75 END_IF
76 // podmínky zajetí
77 IF RE1 THEN
78 GVL.V1_AppC := 2 ;
79 END_IF
80 IF RE2 THEN
81 GVL.V2_AppC := 2 ;
82 END_IF
83 // podmínky blokáce
84 IF BL1 THEN
85 GVL.V1_AppC := 0 ;
86 END_IF
87 IF BL2 THEN
88 GVL.V2_AppC := 0 ;
89 END_IF
90 // podmínky odvětrání
91 IF EX1 THEN
92 GVL.V1_AppC := 3 ;
93 END_IF
94 IF EX2 THEN
95 GVL.V2_AppC := 3 ;
96 END_IF
97 Krok := 10;
98 ELSE
99 Krok := 30;
100 END_IF
101
102 IF SEKVENCE THEN
103 // příprava na start sekvence - zajetí motorů
104 Faze := 1;
105 GVL.V1_AppC := 2 ;
106 GVL.V2_AppC := 2 ;
107 Krok :=100;
108 ELSE
109 Krok := 10;
110 END_IF
111
112 100:
113 IF SESTART THEN
114 Krok := 110;
115 ELSE
116 Krok := 10;
117 END_IF
118
119 110:
120 IF (GVL.V1_ActualAppState = 1 AND Faze = 1 ) THEN
121 GVL.V1_AppC := 1 ;
122 END_IF
123 IF (GVL.V1_ActualAppState = 4 AND Faze = 1) THEN
124 GVL.V2_AppC := 1 ;
125 END_IF
126 IF (GVL.V2_ActualAppState = 4 AND Faze = 1) THEN
127 Faze := 2;
128 END_IF
129 IF (GVL.V2_ActualAppState = 1 AND Faze = 2) THEN
130 GVL.V1_AppC := 2 ;
131 END_IF
132 IF (GVL.V1_ActualAppState = 1 AND Faze = 2) THEN
133 Faze := 1;
134 END_IF
135 IF (GVL.V2_ActualAppState = 4 AND Faze = 2 AND Cas_ubehl) THEN
136 GVL.V2_AppC := 2 ;
137 END_IF
138 IF (SESTOP OR (NOT GVL.Hex_Switch =2) OR Sekvence_vykonana) THEN
139 Krok := 10;
140 ELSE
141 Krok := 110;
142 END_IF
143 END_CASE
144

```

Obr. 124 ST kód programu PLC_PRG řešení Úlohy 6

8.6.4. KONTROLNÍ TEST A JEHO NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Otázka 1:

Které prvky je nutné v prostředí CODESYS duplikovat pro úspěšné zařazení dalšího pneumatického aktuátoru do projektu?

Odpověď 1:

Je třeba vytvořit samostatný funkční blok FB_ValveControl pro nově používaný ventil VEVN. Tento blok je vytvořen v POU, které bylo vytvořeno v jazyce SFC. Blok je totožný s prvním blokem, ale jsou k němu také vytvořeny samostatné globální proměnné, až na proměnnou xMan, kterou mohou mít oba ventily společnou.

Otázka 2:

Jaká je adresace proměnných typu ARRAY OF WORD pro první ventil (na 0. ventilové pozici)?

Odpověď 2:

V1_BusDataFromVTEM AT %IB1 : ARRAY [0 . . 2] OF WORD ;

V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY [0 . . 2] OF WORD ;

Otázka 3:

Jaká je adresace proměnných typu ARRAY OF WORD pro druhý ventil (na 1. ventilové pozici)?

Odpověď 3:

V2_BusDataFromVTEM AT %IB7 : ARRAY [0 . . 2] OF WORD ;

V2_BusDataToVTEM AT %QB6 : ARRAY [0 . . 2] OF WORD ;

Otázka 4:

Které proměnné musí být definovány jako globální a proč? Které proměnné mohou být lokální a proč?

Odpověď 4:

Globální proměnné jsou proměnné, které slouží pro celý projekt, ne pouze pro některou jeho část. Jsou to především proměnné, které jsou určeny ke komunikaci. V rámci projektu pro FMT jsou to proměnné, které jsou propojeny s funkčním blokem FB_ValveControl, který komunikaci umožňuje a také proměnná Hex_Switch.

Lokální proměnné mohou být všechny ostatní proměnné, které nemusí být nutně globální.

Otázka 5:

Která aplikace Motion App byla použita pro tuto úlohu a proč?

Odpověď 5:

Byla použita aplikace Motion App č. 6 – ECO drive (Pohon ECO), protože umožňuje využití koncových senzorů.

9. ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ

V Úvodu práce byl nastíněn kontext vývoje FMT terminálu. Bylo také naznačeno jak FMT zapadá do vývoje směřujícího k realizaci vize Průmyslu 4.0. Byl zde definován i cíl práce a její logické členění.

Dále byl nejprve nastíněn konceptuální vývoj pneumatiky až po digitální pneumatiku, jejímž představitelem je Festo Motion Terminal. To bylo provedeno v kapitole 2. Kapitola je velmi důležitá pro uvedení technologie FMT do kontextu ostatních pneumatických prvků a jejich postupného vývoje, jelikož na ně FMT přímo navazuje.

Následně byl v kapitole 3. popsán FMT, jeho stavba, vlastnosti a stavba jeho univerzálních ventilů VEVM, to jak FMT funguje a shrnuty jeho základní charakteristiky. V kapitole 3. jsou také popsány jednotlivé aplikace Motion Apps a možnosti aplikace terminálu FMT v průmyslu. Kapitola 3. byl tedy splněn 1. bod zadání:

1. Prostudujte komplexní funkce speciálního ventilového terminálu pro digitální pneumatiku (FMT-Festo Motion Terminal), uveďte přehled základních charakteristik, funkcí a možností aplikace.

V kapitole 4. jsou postupně popsány hardwarové a softwarové charakteristiky CPX terminálu. Dále jsou zde uvedeny hlavní aplikační oblasti této technologie. V závěru kapitoly je přiblížen modul CPX terminálu CPX-CEC-S1-V3. Ten spolu s FMT tvoří funkční celek, který je umístěn v laboratoři C1-109 FS ČVUT, a byl použit pro realizaci didaktických úloh. Kapitola 4. byl splněn 2. bod zadání:

2. Prostudujte hardwarové a softwarové charakteristiky a hlavní aplikační oblast programovatelného automatu (PLC) umístěného v CPX terminálu spolu s FMT.

V kapitole 5. bylo krátce popsáno softwarové prostředí CODESYS, ve kterém je řešena většina připravených didaktických úloh kapitoly 8. Kapitola 6. nastiňuje, jak tyto úlohy zapadají do didaktiky technických předmětů a také to, jak na sebe jednotlivé úlohy logicky navazují. Kapitola 7. má studentům a čtenářům sloužit jako přípravná kapitola před samotnou realizací didaktických úloh – je zde uvedena a popsána potřebná instrumentace pro úlohy, nutné instalace a příprava projektu pro aplikaci FMT v softwarovém prostředí CODESYS.

Kapitola 8. obsahuje samostatné didaktické úlohy. Ke každé definuje jejich zadání, potřebnou instrumentaci a obsahuje též krátký návod k jejich řešení. Každá úloha obsahuje také sekci "Řešená úloha", kde jsou k nahlédnutí zdrojové kódy jednotlivých řešených úloh, které byly odzkoušeny v lab. C1-109 FS ČVUT. Každá úloha obsahuje také krátký kontrolní test nabytých znalostí. Zadání testu by měli mít studenti k dispozici již při řešení úlohy, jelikož se jedná o testy, které mají znalosti spíše utvrdit, než testovat pouze mechanickou paměť studentů.

Kapitoly 7. a 8. jsou řešením 3. a 4. bodu zadání, tedy:

3. Navrhněte a odzkoušejte sadu výukových úloh na aplikaci FMT pro účely cvičení a semestrálních projektů.
4. Zpracujte podrobnou didaktickou dokumentaci pro každou navrženou úlohu včetně kontrolních testů.

Tímto byly naplněny všechny body zadání.

Další možná rozšíření práce

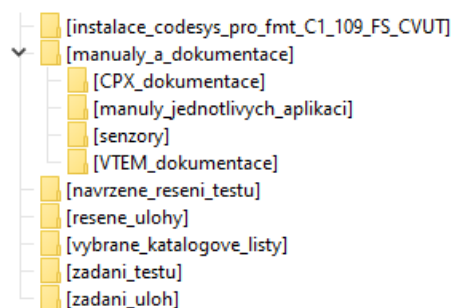
Tato práce a úlohy v ní mohou být rozšířeny následujícími způsoby:

- řešením úloh v prostředí FluidSIM®, kde mohou být řešeny čistě pneumaticky nebo elektropneumaticky
- řešením úloh v prostředí CODESYS s využitím jazyků LD a FBD
- rozšířením úloh přidáním více pneumatických aktuátorů (celkem mohou být použity až čtyři aktuátory)
- rozšíření přidáním aktuátorů je vhodné zejména pro Úlohu 6, v níž byl vysvětleny principy programování všech hlavních složek sekvence, a proto může být zadána jakákoli sekvence typická např. pro jed noučelové stroje, výrobní linky, manipulační linky apod.

10. OBSAH PŘILOŽENÉHO USB FLASH DISKU

S přihlédnutím k tomu, že mnoho notebooků, které jsou dostatečně výkonné pro inženýrskou práci, nemá CD/DVD mechaniku, je přiložený digitální obsah nahraný místo na CD na USB flash disk. Přiložený USB flash disk obsahuje tuto diplomovou práci ve formátu PDF a dále složky:

- 1) "instalace_codesys_pro_fmt_C1_109_FS_CVUT"
- 2) "manualy_a_dokumentace"
- 3) "navrzene_reseni_testu"
- 4) "resene_ulohy"
- 5) "vybrane_katalogove_listy"
- 6) "zadani_testu"
- 7) "zadani_uloh"



Obr. 125 Složky umístěné na USB flash disku

Ve složkách 2) a 5) jsou soubory formátu PDF stažené ze stránek společnosti Festo, které jsou pro lepší orientaci přejmenovány tak, aby byl jasný jejich obsah. Jedná se o katalogové listy jednotlivých komponent, technickou dokumentaci, návody atd. Ve složce 1) jsou potřebné soubory a stručný návod pro instalaci softwaru CODESYS pro ovládání a programování pro VTEM terminál (přesně pro konfiguraci, kterou mají studenti FS ČVUT k dispozici v laboratoři C1-109). Ve složkách 6) a 7) jsou formulovaná zadání jednotlivých úloh a testů. Ve složkách 3) a 4) jsou pak připravena řešení.

Na USB je tedy rozsáhlá dokumentace, která mimo této práce a obsahu z ní vytvořeného obsahuje dokumenty stažené z webových stránek firmy Festo. Při skladbě obsahu USB flash disku byl kladem maximální důraz na ulehčení časové pracovního pro další studenty, kteří se budou práci s FMT věnovat.

11. SEZNAM ZDROJŮ

pozn. citace byly jednotně generovány z online nástroje pro tvorbu citací dle normy ČSN ISO 690 dostupného na webové stránce: <https://www.citace.com/>

- [1] WILLIAMS, Theodore J. *Advances in Industrial Automation: Historical Perspectives*. *Springer Handbook of Automation* [online]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 5-11 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1007/978-3-540-78831-7_56. ISBN 978-3-540-78830-0. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-78831-7_2
- [2] Digital vs. Pneumatic Control. *Yokogawa Electric Corporation* [online]. 2014 [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://www.yokogawa.com/library/resources/media-publications/digital-vs-pneumatic-control/>
- [3] OLSON, Eric. Digital Pneumatics: How Cyber-Physical Systems are Ushering in the Fourth Industrial Revolution. *Engineering360* [online]. 2018, December 14 [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://insights.globalspec.com/article/10758/digital-pneumatics-how-cyber-physical-systems-are-ushering-in-the-fourth-industrial-revolution>
- [4] MEIXNER, H. a R. KOBLER. ÚVOD DO PNEUMATIKY: Učebnice základního běhu semináře A FESTO. Praha: Phoenix.
- [5] BEATER, Peter. *Pneumatic Drives: System Design, Modelling and Control*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, XIV, 324. DOI: 10.1007/978-3-540-69471-7. ISBN 978-3-540-69470-0. 978-3-540-69471-7. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-69471-7#about>
- [6] LOVE, Jonathan. *Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice*. London: Springer-Verlag London, 2007, XLVIII, 1093 [cit. 2020-07-29]. DOI: 10.1007/978-1-84628-282-9. ISBN 978-1-84628-281-2. 978-1-84628-282-9. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84628-282-9#about>
- [7] BENEŠ, Pavel a Antonín MYKISKA. Pneumatické řídicí systémy. Nadstavbový seminář z pneumatiky. Učebnice FESTO Didactic: Postgraduální studium. Praha, 1989. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [8] BENEŠ, Pavel. *Pneumatická ovládání: Doplnkové skriptum*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00692-1.
- [9] FATURÍK, Štefan a Luboš KRAUSKOPF. *Úvod do Elektropneumatiky. Učebnice FESTO Didactic. Postgraduální studium*. Praha, 1989. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [10] HANSSEN, Dag H. *Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to IEC 61131-3 using CODESYS*. Wiley, 2015. DOI: 10.1002/9781118949214. ISBN 978-1-118-94924-5. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118949214>
- [11] PLC Pneumatic Circuit Control. *Inst Tools* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://instrumentationtools.com/plc-pneumatic-circuit-control/>
- [12] WAHL, Philipp. *Digital simplicity. New ways to increase productivity with "smart" systems [White Paper]* [online]. Festo AG & Co., 2017 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: http://festoblog.com/pdf/white-paper/Digital_Simplicity_WP.pdf
- [13] BERTSCH, Thomas a Craig CORREIA. *Digital pneumatics: breakthrough in fingerboard control, safety, reliability [White Paper]* [online]. Festo AG & Co., 2018 [cit. 2020-07-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/504666/Digital%20Pneumatics%20-%20A%20breakthrough%20in%20fingerboard%20control%20WP.PDF>
- [14] MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. *Řízení programovatelnými automaty*. Praha, 2004. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.

- [15] MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. *Řízení programovatelnými automaty III: Softwarové vybavení*. Praha, 2003. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [16] KOCOUREK, Petr a Jiří NOVÁK. *Přenos informace*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2004.
- [17] PEREIRA, C. E. a P. NEUMANN. Industrial Communication Protocols. *Springer Handbook of Automation* [online]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 981-999 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1007/978-3-540-78831-7_56. ISBN 978-3-540-78830-0. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-78831-7_56
- [18] WAHL, Philipp. *Function integration saves time all round [White Paper]* [online]. Festo AG & Co., 2015 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: http://festoblog.com/pdf/white-paper/Digital_Simplicity_WP.pdf
- [19] JANOCHA, Hartmut, ed. *Actuators: Basics and Applications*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004, XIV, 346. DOI: 10.1007/978-3-662-05587-8. ISBN 978-3-642-08266-5. 978-3-642-08266-5. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-05587-8#about>
- [20] DOLL, Matthias, Rüdiger NEUMANN a Michael BERNER. New programmable valve terminal enables flexible and energy-efficient pneumatics for Industry 4.0. HUBERTUS, Murrenhoff. *Fluid power networks : proceedings : 19th - 21th March 2018 : 11th International Fluid Power Conference, [Bd.] Vol. 3* [online]. Aachen, 2018, s. 209-221 [cit. 2020-07-31]. DOI: 10.18154/RWTH-2018-224785. ISBN 978-3-95886-215-9. Dostupné z: https://pdfs.semanticscholar.org/bc1d/1c717f897dd62c51ae565286895e7969ed7f.pdf?_ga=2.135121713.1282869161.1596230871-275525713.1596230871
- [21] *Motion Terminal VTEM* [online]. 2018, 33 s. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/VTEM_CZ.PDF
- [22] Gentle, fast, reliable: wafer handling with the Motion Terminal. *FESTO: Highlights 2020* [online]. 2020, s. 20-21 [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/697611/NHB19_en_135001_V05.pdf
- [23] *Digital simplicity: Festo Motion Terminal VTEM* [online]. Festo, 2019, 16 s. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468005/PSI__Festo_Motion_Terminal_EN.pdf
- [24] WIRTL, Hannes a Ulrich SIXT. *Piezo technology in pneumatic valves [White Paper]* [online]. Festo AG & Co., 2017 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/346243/White_Paper_Piezo_EN.pdf
- [25] Introduction to Adaptive Control. LANDAU, I.D., R. LOZANO a M. M'SAAD. *Adaptive Control*. London: Springer-Verlag, 1998, s. 1-30. DOI: 10.1007/978-0-85729-343-5_1. ISBN 978-1-4471-1044-6. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-343-5_1
- [26] RAGER, David, Rüdiger NEUMANN, Peter POST a Hubertus MURRENHOF. Pneumatische Antriebe für Industrie 4.0 - Pneumatic Drives for Industry 4.0. *Conference: Mechatronik* [online]. Dresden, 2017 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/315383313_Pneumatische_Antriebe_fur_Industrie_40_-_Pneumatic_Drives_for_Industry_40

- [27] NEUMANN, Rüdiger a Elias KNUBBEN. Programmable Mechatronic Pneumatics and Robotics with the Festo Motion Terminal. LOVREC, Darko a Vito TIČ. *International conference Fluid Power 2019: Conference Proceedings* [online]. Maribor: University of Maribor Press, 2019, s. 17-32 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.18690/978-961-286-300-5.2 ISBN 978-961-286-300-5. Dostupné z: <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/view/434/515/767-1>
- [28] *VTEM Motion Terminal: Manual* [online]. Festo SE & Co., 2020, 110 s. [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/701767/VTEM_manual_2020-05d_8134455g1.pdf
- [29] *GAMM-A2 Motion App: Description | Proportional directional control valve* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640956/GAMM-A2_description_2019-04a_8103957g1.pdf
- [30] *GAMM-A3 Motion App: Description | Proportional pressure regulation* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640964/GAMM-A3_description_2019-04a_8103966g1.pdf
- [31] *GAMM-A4 Motion App: Description | Model-based proportional pressure regulation* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640946/GAMM-A4_description_2019-04a_8103975g1.pdf
- [32] *GAMM-A5 Motion App: Description | Supply and exhaust air flow control* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640971/GAMM-A5_description_2019-04a_8103984g1.pdf
- [33] *GAMM-A6 Motion App: Description | ECO drive* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640976/GAMM-A6_description_2019-04a_8103993g1.pdf
- [34] *GAMM-A7 Motion App: Description | Presetting of travel time* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640978/GAMM-A7_description_2019-04a_8104002g1.pdf
- [35] *GAMM-A8 Motion App: Description | Selectable pressure level* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640980/GAMM-A8_description_2019-04a_8104011g1.pdf
- [36] *GAMM-A11 Motion App: Description | Soft Stop* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640948/GAMM-A11_description_2019-04a_8104020g1.pdf
- [37] *GAMM-A12 Motion App: Description | Leakage diagnostics* [online]. Festo, 2019 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/640983/GAMM-A12_description_2019-04a_8104029g1.pdf
- [38] Festo's newest motion app: motion profiling and position. *FRASERS: Canada's industrial search engine* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.frasersdirectory.com/press-release/festos-newest-motion-app-motion-profiling-and-position/>
- [39] Gentle and reliable wafer handling: Festo Motion Terminal enables positioning using pneumatics. *Festo* [online]. 2020, 06/25 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://press.festo.com/cs/node/3119>

- [40] Lift assist 4.0: maximum flexibility with the Motion Terminal. *FESTO: Highlights 2020* [online]. 2020, 22-23 [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/697611/NHB19_en_135001_V05.pdf
- [41] Cinema 4.0: Great movies with the Festo Motion Terminal. *Festo* [online]. 2017, 04/22 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/en_group/SupportPortal/press.aspx?documentId=431661
- [42] First-class wallets: designer fashion relies on Industry 4.0. *FESTO: Highlights 2019* [online]. 2019, 18-19 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: https://tfautomation.co.uk/wp-content/uploads/2019/03/NHB19_en_135001_V05.pdf
- [43] Revolution in automation technology in tyre manufacturing: Saving time and money in tyre manufacturing. *Festo* [online]. 2019, 03/25 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://press.festo.com/pt/node/2983>
- [44] When the rubber hits the road. *Festo* [online]. 2019 [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/585478/TireProcessBook_en.pdf
- [45] Festo Motion Terminal: the flexible cost-cutter: The automation platform VTEM speeds up tyre production. *Festo* [online]. 2019, 4. 3. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/en_corp/SupportPortal/MobilePressDetails.aspx?documentId=545005&q=
- [46] HITCHCOX, Alan. Drill-Rig Fingerboards Get Cyber-Physical with Pneumatic Actuators. *Hydraulics & Pneumatics* [online]. 2018, MAY 16 [cit. 2020-07-25]. Dostupné z: <https://www.hydraulicspneumatics.com/technologies/cylinders-actuators/article/21887660/drillrig-fingerboards-get-cyberphysical-with-pneumatic-actuators>
- [47] *BionicSoftArm: Modular pneumatic lightweight robot* [online]. Festo AG & Co., 2019 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/597075/Festo_BionicSoftArm_en.pdf
- [48] *BionicMotionRobot: Pneumatic lightweight robot with natural movement patterns* [online]. Festo AG & Co., 2017 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_BionicCobot/en/files/assets/common/downloads/Festo_BionicCobot_en.pdf
- [49] *BionicCobot: Sensitive helper for human-robot collaboration* [online]. Festo AG & Co., 2017 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_BionicCobot/en/files/assets/common/downloads/Festo_BionicCobot_en.pdf
- [50] *BionicWorkplace: Self-learning workplace with artificial intelligence for human-robot collaboration* [online]. Festo AG & Co., 2018 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/492807/Festo_BionicWorkplace_en.pdf
- [51] Precisely dosed: Packaging machines with digital pneumatics. *Trends in automation: The Festo customer magazine 2.2017* [online]. 2017 26-29 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/490059/tia_2_2017_Bosch_Packaging_EN.pdf
- [52] *Modulární elektrické terminály CPX* [online]. Festo, 2018, 243 s. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/CPX_CZ.PDF
- [53] *Řídicí bloky CPX-CEC-...-V3* [online]. Festo, 2017, 11 s. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/CPX-CEC-V3_CZ.PDF
- [54] *Řídicí bloky CPX-CEC* [online]. Festo, 2016, 12 s. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/909/D15000100121909.PDF>

- [55] *Why CODESYS?: The right choice for users and device manufacturers across all industries* [online]. [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://www.codesys.com/the-system/why-codesys.html>
- [56] VANĚČEK, David a kolektiv. *Didaktika technických odborných předmětů*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05991-3.
- [57] Proximity sensor, electronic, with cylinder mounting. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/cz-cs/vyukove-systemy/equipment-sets/pneumatics/components/proximity-sensor,electronic,with-cylinder-mounting.htm?fbid=Y3ouY3MuNTQzLjMxLjE4LjU2NC44MDAw>
- [58] Double-acting cylinder. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/cz-cs/vyukove-systemy/equipment-sets/pneumatics/components/double-acting-cylinder.htm?fbid=Y3ouY3MuNTQzLjMxLjE4LjU2NC4zNTE0>
- [59] Start-up valve with filter control valve. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/cz-cs/vyukove-systemy/equipment-sets/pneumatics/components/start-up-valve-with-filter-control-valve.htm?fbid=Y3ouY3MuNTQzLjMxLjE4LjU2NC40NTA5>
- [60] Learntop-L. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/equipment-for-learning-environments/workstation-systems/universal-laboratory-furniture/learntop/learntop-l.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC43NDEuNDQ5OA>
- [61] Aluminium profile plate. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/equipment-sets/accessories/general/aluminum-profile-plate.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC41NTUuMzU4NQ>
- [62] Power supply unit for mounting frame. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/equipment-sets/accessories/general/power-supply-unit-for-mounting-frame.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC41NTUuMzU4Mg>
- [63] Motion Terminal. *Festo* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en_IR/products_VTEM
- [64] Connecting cable, stations C and D. *Festo Didactic* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.festo-didactic.com/ca-en/products/courseware/mechatronic-learning-systems/connecting-cable,stations-c-and-d.htm?fbid=Y2EuZW4uNTM4LjE3LjE4LjUyNC4xMDMwNTU>
- [65] *Blanking plug QSC-10H* [online]. Festo AG & Co., 2020 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/153270/>
- [66] *Festo Motion Terminal (VTEM) - Malfunction codes* [online]. Festo SE & Co., 2020 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/493569/VTEM_MalfunctionCodes.pdf
- [67] *VTEM Motion Terminal - Quick Reference: PLC Programming* [online]. Festo SE & Co., 2020 [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/684271/VTEM_PLC_QuickReference_V1-3.pdf