

Zvýšení energetické účinnosti pneumatického systému s využitím prvků využívajících principů Průmyslu 4.0

Increasing the Energy Efficiency of a Digital Pneumatics System by Using Industry 4.0 Components

Benjamin Przeczek

Diplomová práce
Vedoucí práce: Ing. Martin Mikolajek, Ph.D.
Ostrava, 2023

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Benjamin Przeczek**

Studijní program: **N0714A150001 Řídicí a informační systémy**

Téma: **Zvýšení energetické účinnosti pneumatického systému s využitím prvků využívajících principů průmyslu 4.0**
Increasing the Energy Efficiency of a Digital Pneumatics System by Using Industry 4.0 Components

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor principů a metod využití pneumatických systémů oblasti v Průmyslu 4.0
2. Metody stávajícího řešení měření spotřeby stlačeného vzduchu pro pneumatický a elektropneumatický obvod. Měření spotřeby vzduchu na jednotlivých prvcích pneumatického obvodu.
3. Rozbor možností úspory vzduchu v pneumatických systémech.
4. Navržení SW systém pro optimalizaci řízení spotřeby stlačeného vzduchu pomocí VTEM Motion terminálu.
5. Realizace navrženého systému řízení pomocí vybrané PLC platformy.
6. Vyhodnocení, analýza a porovnání získaných dat (porovnání původního řešení oproti inovovanému pneumatickému řešení).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace 1: základní pojmy, úvod do programování*. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-58-9.
- [2] Dokumentace firmy Festo pro vybrané komponenty pro testované řešení.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Mikolajek, Ph.D.**

Datum zadání: **01.09.2022**

Datum odevzdání: **30.04.2023**

Garant studijního programu: **prof. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.**

V IS EDISON zadáno: **16.11.2022 07:13:44**

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním a software návrhem zařízení pro zvýšení energetické účinnosti pneumatického systému. Výsledné zařízení je sestaveno z poskytnutých prvků od firmy Festo. V teoretické části práci jsou popsány možnosti úspor energií ve stlačeném vzduchu a z toho vycházející analýzy a optimalizace. Dále se teoretická část zaměřuje na principy a metody průmyslu 4.0. a možné zasazení této digitalizace do pneumatických systémů. Praktická část se zabývá návrhem, sestavením dvou pneumatických obvodů. První pneumatický obvod pracuje na obecně známých principech pneumatických systémů. Druhý pneumatický obvod je sestavený z digitální pneumatiky, který pracuje a optimalizuje řízení spotřeby stlačeného vzduchu. Oba modely obsahují sběr dat pro vyhodnocení, analýzu a porovnání obou systémů.

Klíčová slova

Festo, průmysl 4.0, data, fluidSim, spotřeba, optimalizace, digitální pneumatika

Abstract

This thesis deals with the design and software design of equipment to increase the energy efficiency of a pneumatic system. The resulting device is assembled from components provided by Festo. The theoretical part of the thesis describes the possibilities of energy saving in compressed air systems and the resulting analysis and optimization. Furthermore, the theoretical part focuses on the principles and methods of Industry 4.0. and the possible embedding of this digitalization in pneumatic systems. The practical part deals with the design, assembly of two pneumatic circuits. The first pneumatic circuit works on the generally known principles of pneumatic systems. The second pneumatic circuit is assembled from a digital pneumatic system that operates and optimizes the compressed air consumption control. Both models incorporate data acquisition to evaluate, analyze and compare the two systems.

Keywords

Festo, industry 4.0, data, fluidSim, consumption, optimization, digital pneumatic

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Martinu Mikolajkovi, Ph.D., za konzultace a cenné rady během zpracování této práce. Také bych chtěl rád poděkovat panu Ing. Filipu Škeříkovi z firmy Festo za poskytnuté komponenty a užitečné rady při řešení praktické části práce.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Stlačený vzduch a úspory energií	12
2.1 Stlačený vzduch – základní pojmy	12
2.2 Fyzikální zákony	13
2.3 Výroba a rozvod stlačeného vzduchu	13
2.3.1 Jednotka pro úpravu vzduchu	14
3 Pracovní obvod	18
3.1 Pneumatický systém	18
3.2 Pneumatický obvod s Festo VTEM	19
4 Průmysl 4.0	21
5 Programování a tok dat, vizualizace	22
5.1 CoDeSys a standard	22
5.1.1 Základní informace o CoDeSys	22
5.1.2 Standard IEC 61131-3	23
5.2 Node-RED	24
5.3 Grafana	26
6 Festo ventilový terminál	27
6.1 Základní popis VTEM	27
6.2 Technické údaje	28
6.3 Ventily s piezoelektrickou technologií	30
6.4 Konstrukce VTEM	33
6.5 Konstrukce ventilu	34
6.6 Webové rozhraní a aplikace	37
7 Praktická část	41
7.1 Soupis použitých komponentů	41
7.2 Algoritmus v CoDeSys	45
7.2.1 Výpočty a zápis hodnot	45
7.2.2 Inicializace	48
7.3 Popis realizovaných řízení	48
7.4 Pneumatická část a sběr dat	49
7.5 Zpracování dat	51

7.6	První případ	53
7.7	Druhý případ.....	54
7.7.1	Ověření druhého případu s jiným typem válce	55
7.8	Třetí případ	57
7.9	Porovnání jednotlivých případů	58
8	Závěr.....	59
	Použitá literatura	60

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Význam
AI	Artificial Intelligence - umělá inteligence
API	Application Programming Interface
CoDeSys	Controller Development System
CO ₂	oxid uhličitý
IEC-61131-3	standard pro programování
IoT	Internet of Things
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PLC	Programmable Logic Controller

Seznam obrázků

Obrázek 1 : Úpravná jednotka [4]	15
Obrázek 2 : Základní schéma pneumatického systému [9]	19
Obrázek 3 : Pneumatický obvod s Festo VTEM [9]	20
Obrázek 4 : Jednotlivé průmyslové revoluce [12]	21
Obrázek 5 : Logo CoDeSys [15]	22
Obrázek 6 : Programovací jazyky podle IEC 61131-3 [18]	24
Obrázek 7 : Node-RED prostředí [21]	25
Obrázek 8 : Datové toky v Node-RED	25
Obrázek 9 : Vizualizace v Grafana [24]	26
Obrázek 10 : Festo Motion Terminal [10]	27
Obrázek 11 : Tlak v kanálu 4 [10]	29
Obrázek 12 : Tlak v kanálu 2 [10]	29
Obrázek 13 : Funkce ohybu piezokeramiky [28]	31
Obrázek 14 : 2/2 proporcionální ventil s piezoelektrickou technologií [29]	32
Obrázek 15 : Porovnání piezoventil a elektromagnetický ventil [27]	32
Obrázek 16 : Stupně regulace [27]	33
Obrázek 17 : Přehled periférii ventilového terminálu [10]	33
Obrázek 18 : Můstkové zapojení ve ventilu [30]	34
Obrázek 19 : Piezoelektrický pilotní ventil (vlevo) a sedlový ventil (vpravo) [30]	35
Obrázek 20 : Řízení pomocí 4/2 ventilu [30]	35
Obrázek 21 : Řízení pomocí 4/3 ventilu v klidovém stavu uzavřený [30]	35
Obrázek 22 : Řízení pomocí 4/3 ventilu v klidovém stavu odvětráný [30]	36
Obrázek 23 : Rozpad ventilu na jednotlivé části [30]	36
Obrázek 24 : Grafická ikona – funkce jednotlivých ventilů [32]	37
Obrázek 25 : Grafická ikona – proporcionální ventil (průtokový) [32]	38
Obrázek 26 : Grafická ikona – Regulace rychlosti vzduchu na vstupu i odvětrání [32]	38
Obrázek 27 : Grafická ikona – diagnostika úniků [32]	38
Obrázek 28 : Grafická ikona – ECO pohyb [32]	39
Obrázek 29 : Grafická ikona – nastavitelná úroveň tlaku [32]	39
Obrázek 30 : Grafická ikona – přednastavení času pohybu [32]	39
Obrázek 31 : Grafická ikona – proporcionální řízení tlaku [32]	39
Obrázek 32 : Grafická ikona – soft stop [32]	40
Obrázek 33 : Grafická ikona – polohování [32]	40
Obrázek 34 : Grafická ikona – řízení průtoku [32]	40
Obrázek 35 : Schéma zapojení jednotlivých komponentů [9]	42
Obrázek 36 : Festo VTEM [33]	42
Obrázek 37 : Komunikační modul CPX-AP-I [34]	42
Obrázek 38 : IO-Link master modul [35]	43
Obrázek 39 : Schématická značka čidla tlaku [36]	43
Obrázek 40 : Schématická značka čidla průtoku [37]	43
Obrázek 41 : Pneumatický válec Festo ADN [38]	44
Obrázek 42 : Magnetické čidlo polohy [39]	44
Obrázek 43 : Počátek algoritmu	45
Obrázek 44 : Výpočet	46
Obrázek 45 : Konec procesu	46
Obrázek 46 : Funkční blok pro Festo VTEM ventil [40]	47
Obrázek 47 : Kód z CoDeSys [42]	48
Obrázek 48 : Datové toky v Node-RED	51

Obrázek 49 : Průběhy v Grafana.....	51
Obrázek 50 : SQL příkaz v Grafana pro vykreslení požadovaných hodnot.....	52
Obrázek 51 : SQL příkaz v Grafana pro výpočet celkového průtoku vzduchu.....	52
Obrázek 52 : Indikátor v Grafana - celkový průtok v litrech.....	53
Obrázek 53 : Průběhy pro první případ	54
Obrázek 54 : Použití sníženého tlaku při návratu do výchozí pozice[5]	54
Obrázek 55 : Výsledek s jiným typem válce pro konstantní tlak 6 bar.....	56
Obrázek 56 : Výsledek s jiným typem válce se sníženým tlakem.....	56
Obrázek 57 : Průběhy pro třetí případ	58

Seznam tabulek

Tabulka 1 : Základní jednotky SI tabulky [2].....	13
Tabulka 2 : Odvozené jednotky [2].....	13
Tabulka 3 : Popis periférii VTEM [10]	34
Tabulka 4 : Základní parametry čidla tlaku [36]	43
Tabulka 5 : Základní parametry čidla průtoku [37]	44
Tabulka 6 : Základní parametry pneumatického válce [38]	44
Tabulka 7 : Základní parametry magnetického čidla [39]	45
Tabulka 8 : Tabulka pro nastavení App Control [41]	47
Tabulka 9 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku	53
Tabulka 10 : Jednotlivé časy cyklů s průměrným výpočtem	53
Tabulka 11 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku / úspora	55
Tabulka 12 : Jednotlivé časy cyklů s průměrným výpočtem	55
Tabulka 13 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku / úspora pro jiný typ válce	56
Tabulka 14 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku	57
Tabulka 15 : Jednotlivé časy cyklů s průměrným výpočtem	57
Tabulka 16 : Porovnání jednotlivých případů.....	58

1 Úvod

V posledních letech jsme svědky zvýšené pozornosti věnované otázkám životního prostředí a udržitelnosti. Jednou z oblastí, které se toto téma dotýká, je spotřeba energie. Spotřeba energie ovlivňuje všechny oblasti lidské činnosti, od jednotlivců v domácnostech až po různé firmy, které například se zabývají průmyslovou automatizací. Energetická účinnost se týká i každodenních činností. Základním krokem k úsporám energie je snížení spotřeby energie v domácnostech. Patří sem vypínání spotřebičů, když se nepoužívají, používání úsporných žárovek a nákup energeticky účinných spotřebičů. Malé změny v chování mohou mít na energetickou účinnost významný vliv. Jedním z důvodů, proč je dnes nutné snižovat spotřebu energie, je rostoucí poptávka po energii v důsledku zvyšujícího se počtu obyvatel světa a hospodářského růstu. Rostoucí poptávka po energii má za následek zvyšování emisí skleníkových plynů, které přispívají ke globálnímu oteplování a změně klimatu. Dalším důvodem pro snížení spotřeby energie je růst cen energie. Tyto ceny mohou být ovlivněny geopolitickými a ekonomickými faktory, což může mít negativní dopad na hospodářský růst a konkurenceschopnost zemí. Snižování spotřeby energie a zvyšování energetické účinnosti má rovněž pozitivní dopad na životní prostředí. Nižší spotřeba energie snižuje produkci skleníkových plynů a dalších emisí, což může zlepšit kvalitu ovzduší a vody a chránit ekosystémy.

Prvním krokem k dosažení energetické účinnosti je správné využívání energie. To zahrnuje nejen šetření energií, ale také využívání obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární panely, vodní turbíny nebo větrné elektrárny. Tyto zdroje energie mají menší dopad na životní prostředí a mohou snížit náklady na energii. Dalším krokem k dosažení energetické účinnosti je využívání moderních technologií. Průmysl 4.0 přináší nové technologie a metody, které mohou pomoci snížit spotřebu energie. Například výrobní procesy lze optimalizovat pomocí automatizace a různých technologií, které mohou snížit spotřebu energie. Inteligentní měřicí a řídicí systémy také pomáhají monitorovat a optimalizovat energetickou náročnost, pomáhají efektivněji využívat energii a zvyšovat v konečném důsledku také energetickou účinnost.

Cílem této diplomové práce je analyzovat možnosti zvýšení energetické účinnosti pneumatického systému s využitím prvků průmyslu 4.0. Práce se zaměří na návrh a implementaci nových řešení a postupů, které umožní efektivní využití energie v pneumatickém systému. Bude zkoumat možnosti využití senzorů, ventilů a válců s optimalizací řízení vzhledem k energetické účinnosti, automatizaci pneumatických systémů a využití cloudu pro sběr a analýzu dat. V rámci diplomové práce bude provedena analýza energetické náročnosti pneumatického systému před a po implementaci navržených řešení. Na základě výsledků experimentů budou zhodnoceny výhody a nevýhody využití prvků průmyslu 4.0 pro zvýšení energetické účinnosti pneumatického systému.

2 Stlačený vzduch a úspory energií

2.1 Stlačený vzduch – základní pojmy

Úspory energie při výrobě stlačeného vzduchu jsou velmi důležité, protože stlačený vzduch je jedním z nejčastěji používaných pracovních médií v různých průmyslových odvětvích, a proto pneumatické systémy jsou stále široce využívány, protože stlačený vzduch má stále mnoho výhod při používání. Mezi jednotlivé výhody a nevýhody se řadí:

Výhody

- 1) Doprava – Vzduch je jednoduše dopravitelný na malé i velké vzdálenosti. Je potřeba jen nějaká hadice, trubka pro přenos tohoto média.
- 2) Skladování – Stlačený vzduch lze uchovávat v zásobníku a používat dle potřeby
- 3) Teplotní odolnost – Stlačený vzduch je relativně necitlivý na změnu teploty. To zaručuje spolehlivý provoz i za extrémních podmínek.
- 4) Bezpečnost proti výbuchu – Minimální riziko výbuchu nebo požáru, díky čemuž není nutná drahá ochrana proti výbuchu (eliminace dražších prvků do Ex)
- 5) Čistota – Nemazaný vzduch je čistý a je ideální v průmyslu jako je potravinářský, farmaceutický, výbušný bez rizika kontaminace.
- 6) Jednoduchost – Pneumatické komponenty mají jednoduchou konstrukci, a proto jsou relativně levné
- 7) Rychlost – Stlačený vzduch umožňuje vysoké pracovní rychlosti
- 8) Nastavitelnost – U pneumatických komponentů lze snadno upravovat a nastavovat v širokém rozmezí rychlosti i síly.
- 9) Odolnost proti přetížení – Pneumatické prvky a komponenty je možné zatěžovat až do úplného zastavení – proto jsou bezpečné [1, 2, 3].

Nevýhody

- 1) Úprava – stlačený vzduch vyžaduje úpravu, aby se zabránilo opotřebením pneumatických součástí částicemi nečistot nebo kondenzovanou vodou.
- 2) Stlačitelnost – Použitím stlačeného vzduchu není možné dosáhnout konstantních rychlostí pneumatické pístní tyče.
- 3) Rozsah sil – Stlačený vzduch je ekonomicky efektivní pouze do určitých úrovní požadované síly.
- 4) Odvětrávaný vzduch – Stlačený vzduch je velmi hlučný, což do značné míry eliminovat použitím materiálů absorbujících hluk – pomocí tlumičů hluku [1, 2, 3].

2.2 Fyzikální zákony

Vzduch je směs plynů s následujícím složením:

- přibližně 78 % dusíku
- přibližně 21 % kyslíku

Dále vzduch obsahuje také stopy argonu, vodíku, neonu, helia, kryptonu, xenonu a kysličníku uhličitého.

Abychom porozuměli vlastnostem vzduchu, jsou zde představeny fyzikální veličiny. Všechny specifikace jsou v Mezinárodní soustavě jednotek neboli SI [2].

Tabulka 1 : Základní jednotky SI tabulky [2]

Proměnná	Symbol	Jednotka
Délka	l	Metr (m)
Čas	t	Sekunda (s)
Teplota	T	Kelvin (K)
Hmotnost	m	Kilogram (kg)

Tabulka 2 : Odvozené jednotky [2]

Proměnná	Symbol	Jednotka
Tlak	p	Pascal (Pa) 1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 10 ⁵ Pa
Průtok	q _v	Metr kubický za sekundu (m ³ /s)
Síla	F	Newton (N)
Plocha	A	Metr čtvereční (m ²)
Objem	V	Metr kubický (m ³)

2.3 Výroba a rozvod stlačeného vzduchu

Pro spolehlivost pneumatického systému, je nutné, aby do něj byl dodávaný stlačený vzduch s odpovídající kvalitou. Kvalita je zaručená následujícími požadavky:

- Správně nastavený tlak
- suchý vzduch bez kondenzátu
- vzduch očištěný od částic nečistot

Při nesplnění těchto kritérií může vést ke zvýšeným prostojům systémů a zvýšeným provozním nákladům.

Výroba stlačeného vzduchu začíná kompresí atmosférického vzduchu, který následně prochází řadou součástí a prvků, než se dostane do cílového zařízení nebo technologie. Pro přípravu stlačeného vzduchu by měly být použity následující prvky:

- filtr pevných částic

- vzduchový kompresor
- nádoba na stlačený vzduch
- sušička vzduchu
- filtr s odlučovačem kondenzátu
- redukční ventil
- maznice (je-li vyžadováno)

Následky nesprávně upraveného stlačeného vzduchu. Nesprávně upravený vzduch může zvýšit poruchovost a zkrátit životnost vašeho pneumatického systému. Nesprávně upravený vzduch lze rozpoznat podle následujících znaků:

- zvýšené opotřebení těsnění a pohyblivých částí ventilů a válců
- ventily znečištěné olejem
- špinavý tlumič
- Koroze v potrubí, ventilech, válcích a dalších

Pokud dojde k úniku, unikající stlačený vzduch může poškodit produkt, který se zpracovává [2].

2.3.1 Jednotka pro úpravu vzduchu

Jednotlivé funkce při přípravě stlačeného vzduchu, jako je filtrace, úprava a mazání, mohou být vykonávány jednotlivými komponentami. Tyto funkce jsou často kombinovány v jedné jednotce nazývané jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu nebo také servisní jednotka. Tyto jednotky jsou umístěny před každým pneumatickým systémem. Stlačený vzduch v ovládací části by neměl být mazán.

Filtry stlačeného vzduchu: Kondenzát, nečistoty a nadbytečný olej mohou vést k opotřebení pohyblivých částí a těsnění pneumatických komponentů. Pokud obvod obsahuje nějaké netěsnosti, všechny zmíněné látky mohou unikat mimo zařízení. Bez použití filtrů stlačeného vzduchu hrozí kontaminace výrobků zpracovávaných v potravinářském, farmaceutickém a chemickém průmyslu.

Výběr filtru stlačeného vzduchu má zásadní význam pro dodávání stlačeného vzduchu požadované kvality do pneumatického systému. Klíčovým parametrem filtru stlačeného vzduchu je velikost jeho pórů. Nahromaděný kondenzát je třeba vypustit před dosažením označené maximální horní hladiny, aby nedošlo k jeho zpětnému nasávání proudem vzduchu do obvodu. Při stálém výskytu kondenzátu je možné použít namísto manuálního ventilu pro vypouštění, automatický ventil. V takovém případě je potřeba zjistit příčinu velkého objemu zkondenzované vody.

Díky odstředivé síle se kapky vody a pevné částičky oddělí od proudu stlačeného vzduchu. Tyto částičky jsou odhozeny proti vnitřní stěně nádoby filtru a odtud stékají přímo do sběrné nádoby kondenzátu. Částečně pročištěný vzduch pokračuje přes filtrační vložku, kde jsou zachyceny nečistoty větší než velikost pórů. Běžné filtry mají velikost pórů mezi 5 μm a 40 μm . Stupeň filtrace vyjadřuje procentuální množství částic určité velikosti, které se odfiltrují z proudu vzduchu. Například stupeň filtrace 99,99 % se týká částic o velikosti 5 μm . S použitím mikrofiltrů lze odfiltrovat 99,999 % částic větších než 0,01 μm . Filtrační vložku je třeba po určité době provozu vyměnit, protože zachycené nečistoty ji mohou ucpat. Čím více je filtr znečištěn, tím většímu odporu je proud vzduchu vystaven, což vede k vyššímu tlakovému spadá na výstupu. U filtrů je nutné provádět pravidelnou vizuální kontrolu nebo měření diferenciálního tlaku, aby se určilo, kdy je třeba filtrační vložku vyměnit [2].



Obrázek 1 : Úpravná jednotka [4]

Pracovní médium, jako stlačený vzduch, je v České republice například velmi rozšířené v automobilovém průmyslu, který představuje jeden z velkých podílů české ekonomiky. V poslední době také velmi atraktivním a rozšiřujícím odvětvím je farmaceutický průmysl, který čelí po celém světě stále větším výzvám, které je možné řešit i pomocí průmyslové automatizace, protože rostoucí a stárnoucí populace, zvyšující se riziko onemocnění vyžadují vysoce efektivní, účinná řešení a také časově nenáročná.

Zvýšení energetické účinnosti pneumatického systému je důležité z několika důvodů.

- 1) snížení spotřeby energie na výrobu stlačeného vzduchu -> zvýšení finanční hospodárnosti celého podniku
- 2) zvýšení celkové účinnosti průmyslových technologií a procesů
- 3) velké téma také snížení emisí skleníkových plynů (co nejvíce CO₂ neutrální), z toho vyplývající ochrana životního prostředí

Jednou z možností, jak zvýšit energetickou účinnost pneumatických systémů, je využití prvků, které pracují na principech průmyslu 4.0. Průmysl 4.0 je označení pro čtvrtou průmyslovou revoluci, která se zaměřuje na digitalizaci, propojení a automatizace všech výrobních procesů. Zabývá se také novými technologiemi, jako jsou umělá inteligence, internet věcí a strojové učení, ke zlepšení efektivity a produktivity průmyslových procesů. Průmysl 4.0 neboli také „chytrá továrna“ a její správné předvýrobní nastavení umožní podnikům dokonale pracovat s automatizovaným procesem a velmi dobře reagovat na přicházející vstupy zvenčí například od jednotlivých zákazníků.

Způsoby a možnosti ušetření energie na stlačeném vzduchu

Existuje 12 různých opatření a způsobů, jak úspěšně ušetřit energii. Dle názoru odborníků Festo umožňují tato opatření rychlou a jednoduchou realizaci vhodných optimalizačních opatření. Následující příklady ukazují nejlepší scénáře, kolik lze pomocí jednotlivých opatření ušetřit.

1) Minimalizace tření

Čím nižší je tření, tím nižší jsou energetické ztráty a tím delší je životnost prvků. Pro zajištění udržitelného provozu je nejlepší používat komponenty s nízkým třením. Pneumatické pohony Festo DGSL nebo DGST se pohybují mimořádně přesně a s minimálním třením.

2) Použití obvodů pro úsporu vzduchu

Stálý podtlak není nezbytně důležitý pro spolehlivé udržení předmětů. Cílem je používat vakuum pouze v případě potřeby. Vakuový generátor Festo OVEM a vakuový generátor Festo VADMI s inteligentním monitorováním vakua vytvářejí vakuum pouze tehdy, když je to nutné. V případě nečinnosti se mohou automaticky vypnout a šetřit vzduch.

3) Výběr správných komponent

Energeticky účinná opatření začínají již při návrhů celých systémů. Důležitý je pečlivý výběr správného typu pohonu pro danou aplikaci. Jednočinné válce nebo návrat pneumatických válců se sníženým tlakem mohou výrazně snížit spotřebu stlačeného vzduchu.

4) Úspora hmotnosti

Pohybové hmotnosti vyžadují energii. Měli by se proto udržovat nízké pohyblivé hmotnosti, například tím, že se zajistí správné rozměry všech součástí. Pokud užitečné zatížení a doba cyklu aplikace dovolují, může se rozhodnout pro kombinaci technologií spojením elektrického manipulátoru s lehkou pneumatickou osou Z. Pneumatické chapadla jsou lehčí než elektrické a tím se šetří hmotnost a energie v pohyblivých aplikacích. Lehké výrobky nesnižují pouze spotřebu energie, ale také potřebují pro výrobu méně materiálu, proto mají lepší stopu CO₂.

5) Efektivní regulace

Pomocí softwaru pro konfiguraci a uvedení do provozu s Festo Configuration Tool se může nastavit optimální chování řízení systémů. Digitalizovaná pneumatika s terminálem Motion Terminal VTEM nabízí širokou škálu aplikací Motion Apps pro co nejušpornější řízení připojených komponent pneumatického pohonu.

6) Správná volba

Spotřeba energie je do značné míry ovlivněna konstrukcí pohonů. Je proto důležité se vyhnout předimenzovaným pohonům a systémům. Příklad: u válce DSBC založeného na normách vede snížení velikosti ze 40 mm na 32 mm k úspoře energie přibližně 35 %.

7) Snížení úrovně tlaku

Existují různé způsoby, jak snížit úroveň tlaku, a tím i náklady na energii. Zbytečně vysoká úroveň tlaku v celé síti vyžaduje velké množství energie. Snížením tlaku v systému o 1 bar lze ušetřit až 10 % celkové spotřeby energie. Některé technologie vyžadují konstantní minimální úroveň tlaku. Pokud jednotlivé aplikace vyžadují v určitých bodech vyšší úroveň tlaku, lze vyšší tlak dodat například decentralizovaně pomocí zařízení pro zvýšení tlaku Festo DPA namísto zvyšování tlaku v celých rozvodech stlačeného vzduchu. Pokud aplikace vyžadují plnou sílu pouze v jednom směru pohybu nebo pokud lze pohon obecně provozovat s nižším tlakem, lze tlak pro návrat do výchozí pozice snadno a efektivně snížit na polovinu.

8) Snížení úniků, netěsností

Neodhalené úniky způsobují nepřetržitě zbytečné náklady na energii. Z průzkumů vyšlo, že u stávajících systémů lze míru úniků snížit až o 20 %. Proto je důležité pravidelně kontrolovat systém stlačeného vzduchu a zjišťovat netěsnosti. Vlhkost, znečištění a olej mají negativní vliv na těsnění a vyplavují z komponentů původní mazivo. Materiály rozvodů se volí tak, aby byly vhodné do daného prostředí. Zabrání se tak chemickému, fyzikálnímu a mikrobiálnímu poškození, a tím i pozdějším únikům.

9) Rekuperace energie

Brzdná energie může být za určitých okolností znovu využita k úspoře elektrické energie, například pomocí stejnosměrné spojky.

10) Vypnutí systému

V některých pracovních cyklech může být přívod energie dočasně pozastaven – pro nulovou spotřebu energie a nulový únik. Vypínat přívod vzduchu, kdykoli je to možné, například při odstávkách stroje, na konci směny nebo během přestávek. Aby se zabránilo neproduktivnímu chodu naprázdno, mělo by být možné vypnout celý systém i jednotlivé jednotky nebo komponenty.

11) Zkrácení hadic

Mnohé hadice mezi ventily a pohony jsou příliš dlouhé a zvyšují spotřebu stlačeného vzduchu tzv. mrtvým objemem. Tento neproduktivní vzduch má také negativní dopad na dobu cyklu systému. Mrtvý objem v hadicích často tvoří velké procento celkové spotřeby. Důležité je také používání vhodných nástrojů pro řezání hadiček stlačeného vzduchu na délku, jako je například řezačka trubek, aby se zajistili těsné spoje a zabránilo netěsnostem.

12) Snížení tlakových ztrát

Správná příprava stlačeného vzduchu nejen zvyšuje životnost prvků a systémů, ale také produktivitu a energetickou účinnost. Vhodné dimenzování systému přípravy stlačeného vzduchu je důležité, a to i s ohledem na komponenty servisní jednotky. Kontrola, zda jsou filtry použity správně, protože každý filtrační stupeň snižuje průtok a zvyšuje tlakovou ztrátu. Pravidelná údržba a správně zvolená kvalita stlačeného vzduchu může snížit spotřebu energie při přípravě stlačeného vzduchu až o 20 %. Včasná výměna filtračních prvků v servisních jednotkách zabraňuje zbytečným průtokovým odporům [5, 6].

3 Pracovní obvod

3.1 Pneumatický systém

Pneumatické systémy jsou v průmyslové automatizaci dlouhodobě důležitým prvkem, které poskytují efektivní a spolehlivé řešení pro přenos energie a pohybu pomocí stlačeného vzduchu. Tyto systémy nabízejí několik výhod oproti jiným metodám přenosu energie. Avšak s nástupem digitální technologie se objevila nová alternativa – digitalizovaná pneumatika, která nabízí mnoho výhod. Tradiční pneumatické systémy se skládají z různých komponentů, jako jsou kompresory, ventily, pohony a zařízení pro přípravu vzduchu, které společně řídí a přenáší stlačený vzduch. Mezi výhody tradičních pneumatických systémů patří:

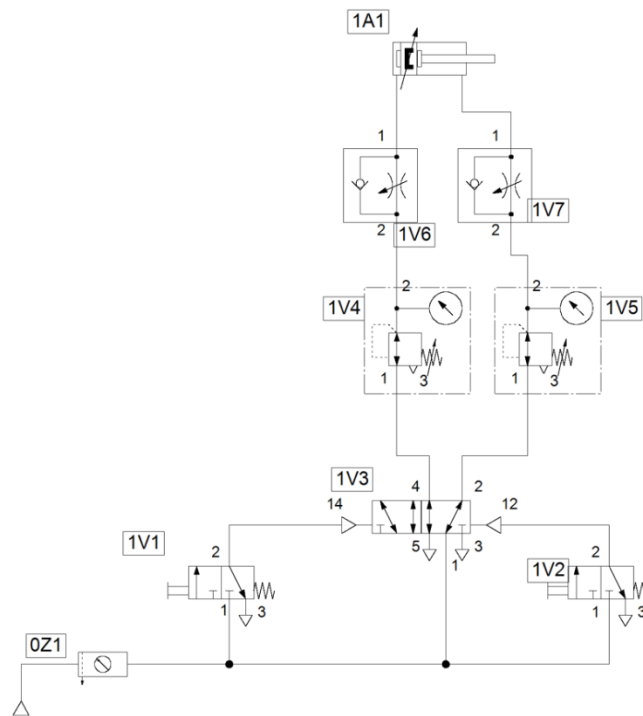
- 1) Pneumatické systémy jsou snadno konstruovatelné, údržbu mají relativně jednoduchou. Absence složitých elektrických obvodů snižuje potřebu specializovaných odborných znalostí obsluhy a operátorů.
- 2) Použití stlačeného vzduchu jako zdroje energie je bezpečné, protože nevytváří jiskry a neobsahuje žádné nebezpečné materiály, což umožňuje jeho použití v nebezpečných nebo výbušných prostředích.
- 3) Pneumatické komponenty obecně stojí méně než jejich hydraulické nebo elektrické alternativy a náklady na stlačený vzduch jako zdroj energie jsou relativně nízké (pokud je dodržena správná výroba a použití vzduchu), což z nich dělá hospodárnou volbu.
- 4) Pneumatické systémy jsou známé svou robustností a schopností odolávat náročným provozním podmínkám, včetně vysokých teplot, vibrací a prachu, což prodlužuje jejich životnost [2, 7, 8].

A mezi nevýhody tradičních pneumatických systémů můžeme zařadit:

- 1) Omezená přesnost: Tradiční pneumatické systémy mohou být kvůli své závislosti na stlačeném vzduchu méně přesné, zejména pokud jde o řízení rychlosti a polohování.
- 2) Energetická neúčinnost: V důsledku výroby a přenosu stlačeného vzduchu může docházet ke značným energetickým ztrátám, takže tradiční pneumatické systémy jsou méně energeticky účinné než jiné možnosti [2, 7, 8].

Základní pneumatický obvod s jedním dvojčinným válcem se skládá z následujících prvků:

- A) Kompresor: vyrábí stlačený vzduch, který je zdrojem energie pro pneumatický obvod. Stlačený vzduch se obvykle uchovává v zásobníku pro okamžité použití (viz. Obrázek 2 – 0Z1).
- B) Škrtkovací ventil: tento ventil ovládá proudění vzduchu v obvodu a umožňuje řídit rychlost proudění stlačeného vzduchu do válce pro vysunutí nebo zasunutí pístní tyče (viz. Obrázek 2 – 1V6, 1V7).
- C) Redukční ventil: tato součást reguluje tlak stlačeného vzduchu, který je přiváděn do válce, a zajišťuje, aby válec pracoval v bezpečném rozsahu tlaku (viz. Obrázek 2 – 1V4, 1V5).
- D) Rozváděcí ventil: tento ventil udává směr proudění vzduchu - pro vysunutí nebo zasunutí pístní tyče (viz. Obrázek 2 – 1V3).
- E) Tlumič: Tato součást snižuje hluk, který vydává odfukovaný stlačený vzduch.
- F) Dvojčinný přímočarý pneumatický válec: je hlavní součástí obvodu a vykonává mechanickou práci (viz. Obrázek 2 – 1A1).



Obrázek 2 : Základní schéma pneumatického systému [9]

Základní pneumatický obvod s jedním dvojčinným válcem představuje jednoduchý, ale účinný způsob řízení pohybu a funkčnosti celého obvodu. Obvod je napájený a řízený stlačeným vzduchem, který je vyráběn kompresorem a skladován v zásobníku pro okamžité použití. Směr proudění vzduchu je řízen rozváděcím ventilem, který umožňuje řídit směr stlačeného vzduchu do válce pro vysunutí nebo zasunutí pístní tyče. Jedná se o spolehlivý a cenově výhodný způsob řízení jednoduchých průmyslových aplikací – jednoúčelové stroje / technologie. Tento systém má však také své nedostatky.

Jedním z hlavních nedostatků pneumatických obvodů je to, že nejsou vhodné pro aplikace vyžadující přesné řízení síly, rychlosti nebo polohy. Protože stlačený vzduch je stlačitelný plyn, jehož vlastnosti se mohou v čase měnit. Jedním z těchto faktorů může být teplota a vlhkost, což může ovlivnit výslednou přesnost obvodu.

Dalším nedostatkem pneumatických obvodů je to, že mohou být hlučné kvůli odfukovanému stlačenému vzduchu. Tento problém lze řešit použitím tlumičů.

3.2 Pneumatický obvod s Festo VTEM

Festo Motion Terminal VTEM představuje revoluci v oblasti digitální pneumatiky, jelikož se jedná o první terminál, který využívá softwarově řízené ventily. Tato inteligentní technologie, která kombinuje pneumatiku, senzory, elektroniku a software, umožňuje efektivně řešit široké spektrum pneumatických aplikací. Díky integraci mnoha funkcí pro pohyb, tlak a průtok do jednoho výrobku lze dosáhnout velmi zajímavých aplikací. Jednou z klíčových výhod VTEM terminálu je zvýšená energetická účinnost se kterou lze pracovat.

V rámci této diplomové práce je pro sledování a analýzu dat z VTEM terminálu použitý nástroj Grafana. Grafana je open-source nástroj pro vizualizaci a monitorování dat, který díky své flexibilitě,

široké škále vizualizačních možností a snadné integraci s různými databázovými systémy umožňuje efektivní monitorování a analýzu dat z Festo VTEM terminálu [10, 11].

Tento terminál je navržen s digitální technologií, která umožňuje větší kontrolu a flexibilitu oproti tradičním pneumatickým systémům bez vyšších řídicích jednotek.

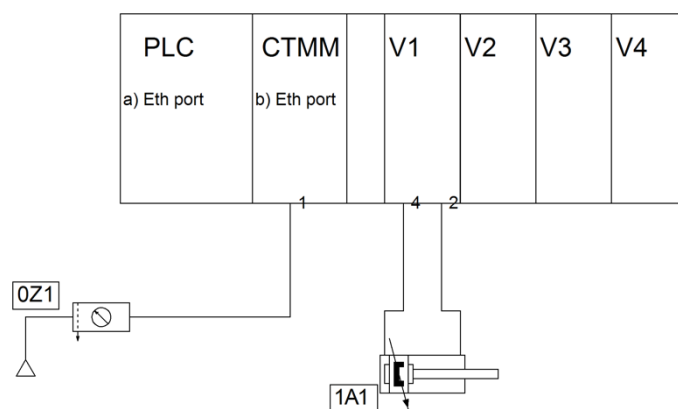
Výhody použití Festo VTEM:

- 1) Větší přesnost a kontrola: Digitální technologie umožňuje přesnější a citlivější řízení tlaků a průtoků, což vede k lepšímu výkonu a efektivitě.
- 2) Flexibilita: VTEM umožňuje snadné přizpůsobení pneumatického obvodu pro různé aplikace nebo úpravy v průběhu času bez nutnosti měnit celý systém.
- 3) Diagnostika a monitorování: Digitální technologie usnadňuje sledování stavu systému a rychle identifikuje potenciální problémy, což umožňuje preventivní údržbu a snižuje dobu odstávky.
- 4) Snižování energetické spotřeby: VTEM umožňuje optimalizaci spotřeby stlačeného vzduchu, což vede ke snížení energetických nákladů.
- 5) Menší počet komponent: Díky pokročilemu řízení mohou být některé tradiční komponenty, jako jsou ventily a regulátory, nahrazeny jediným VTEM terminálem [10, 11].

Nevýhody použití Festo VTEM:

- 1) Vyšší náklady na pořízení: VTEM terminál může být dražší než tradiční pneumatické komponenty, což zvyšuje počáteční investici.
- 2) Složitost: Přidání digitální technologie do pneumatického systému může zvýšit jeho složitost, což může ztížit údržbu a opravy pro některé uživatele.
- 3) Potřeba odborných znalostí: Správné nastavení a provoz VTEM vyžaduje znalost digitálních technologií a programování, což může být pro některé uživatele překážkou.
- 4) Závislost na elektronice: Ačkoli pneumatické systémy s VTEM mají mnoho výhod, závislost na elektronických komponentech zvyšuje riziko selhání v případě poruchy elektroniky [10, 11].

Přestože existují určité nevýhody spojené s použitím Festo VTEM v pneumatickém systému, výhody často převažují, zejména v aplikacích, kde je vyžadována větší přesnost, kontrola a energetická účinnost. Pokročilé funkce, jako je diagnostika a monitorování, mohou z dlouhodobého hlediska snížit celkové náklady na údržbu a zlepšit spolehlivost systému. Navíc flexibilita VTEM umožňuje snadnější integraci s dalšími technologiemi, jako je řízení PLC nebo průmyslová komunikace. To zvyšuje hodnotu a udržitelnost pneumatického systému, který využívá Festo VTEM [10, 11].



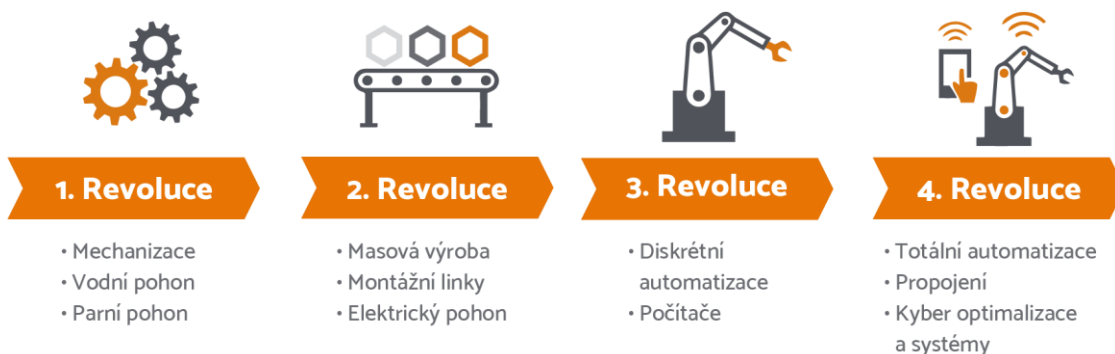
Obrázek 3 : Pneumatický obvod s Festo VTEM [9]

4 Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 je pojem, který v posledních letech hýbe průmyslem. Jedná se o čtvrtou průmyslovou revoluci, která se vyznačuje integrací pokročilých technologií, jako je internet věcí (IoT), umělá inteligence, analýza dat, cloud computing a robotika do výrobních a automatizovaných procesů. Tato integrace vede k vyšší míře automatizace, efektivity a přizpůsobení, což vede ke zvýšení produktivity, kvality a také efektivity – jak ekonomické, tak produktivní.

Přínosů Průmyslu 4.0 je celá řada. Jedním z hlavních přínosů je vyšší efektivita, kterou přináší do výrobního procesu. Díky integraci pokročilých technologií jsou stroje schopny lépe komunikovat mezi sebou i s lidmi, což vede ke snížení počtu chyb a zrychlení výroby, snížení prostojů. Tato vyšší efektivita vede ke snížení nákladů, které se mohou přenést na spotřebitele v podobě nižších cen. Další výhodou Průmyslu 4.0 je větší přizpůsobivost - výrobci jsou schopni lépe přizpůsobovat výrobky specifickým potřebám jednotlivých zákazníků a velmi dobře reagovat při změně trendů. Toto přizpůsobení vede k větší spokojenosti zákazníků.

S těmito výhodami však přicházejí i výzvy, které je potřeba řešit. Jednou z hlavních výzev je dopad, který bude mít Průmysl 4.0 na pracovní sílu. S rostoucí automatizací a digitalizací, kterou Průmysl 4.0 přináší, se mnoho pracovních míst stane zastaralými a pracovníci budou muset získat nové dovednosti, aby zůstali na trhu práce relevantní. Další výzvou je potřeba, aby výrobci investovali do nových technologií a infrastruktury, která umožní integraci technologií Průmyslu 4.0 do jejich provozu. Pro menší podniky to může představovat značnou finanční zátěž [12, 13].



Obrázek 4 : Jednotlivé průmyslové revoluce [12]

5 Programování a tok dat, vizualizace

5.1 CoDeSys a standard

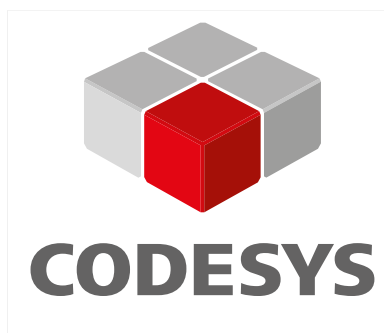
5.1.1 Základní informace o CoDeSys

CoDeSys (Controller Development System) je softwarová platforma určená pro automatizaci jak průmyslových, tak i jiných procesů. Jejím hlavním prvkem je nástroj pro programování IEC-61131-3, který umožňuje snadné vytváření automatizačních aplikací pro různé průmyslové účely. Tato platforma nabízí uživatelům komplexní řešení pro konfiguraci a programování automatizačních aplikací, které jsou založeny na standardu IEC-61131-3.

V platformě jsou k dispozici otevřené rozhraní, bezpečnostní funkce a pohodlné připojení k cloudové platformě pro správu dat, vlastní import knihoven.

Platforma CoDeSys se také používá k implementaci programovatelných nebo konfigurovatelných automatizačních komponent výrobců zařízení. Možnosti zahrnují integrované produkty pro vizualizaci, řízení koordinovaného pohybu a připojení ke sběrnicím a průmyslovým Ethernetovým systémům.

CoDeSys je nezávislý na výrobci a je široce využíván. K dispozici jsou miliony jednotlivých zařízení kompatibilních s CoDeSys, více než 1000 různých typů zařízení od více než 500 výrobců a desetitisíce koncových uživatelů CoDeSys po celém světě, což dokazuje, že CoDeSys je vedoucím nezávislým nástrojem pro programování podle normy IEC-61131-3 [14].



Obrázek 5 : Logo CoDeSys [15]

Díky standardu IEC 61131-3 je CoDeSys flexibilní a může být použit pro širokou škálu řídicích úloh.

- Jednoduché spuštění, programování, nastavení
- Ethernetová komunikace pro jednoduché programování, knihovna modulů
- Podporovány jsou následující funkce a jazyky:
 - Reléové schéma
 - Strukturovaný text
 - Sekvenční funkční diagram

- Kontinuální funkční diagram
- Blokový diagram funkcí
- Integrovaná vizualizace, tvorba webové vizualizace
- Funkce záznamu, vykreslení průběhů a parametrů
- Offline simulace bez použití reálného zařízení
- Kombinace programovacích jazyků
- Všechny standardní datové typy: BYTE, WORD, DWORD, SINT, USINT, INT, UINT, DINT
- Funkce kontextové nápovědy
- Neomezený počet parametrů funkcí [14, 16]

5.1.2 Standard IEC 61131-3

IEC-61131-3 je mezinárodní standard pro programování automatizačních systémů. Tento standard definuje několik jazyků programování pro vytváření automatizačních aplikací, jako jsou funkční bloky, reléová schémata a textové jazyky. IEC-61131-3 standard je navržen tak, aby umožnil uživatelům jednoduše vytvářet a programovat automatizační systémy bez ohledu na to, kdo výrobce zařízení je. IEC-61131-3 standard je široce používán v průmyslové automatizaci, kde je kritické, aby systémy byly spolehlivé a snadno programovatelné. Použitím tohoto standardu se snižuje náklad na vývoj, testování a údržbu automatizačních aplikací, což umožňuje uživatelům rychle a efektivně implementovat řešení pro řízení průmyslových procesů. IEC-61131-3 standard je také navržen tak, aby byl kompatibilní s jinými standardy a protokoly v průmyslové automatizaci, což umožňuje uživatelům jednoduše integrovat své automatizační systémy s jinými systémy a zařízeními.

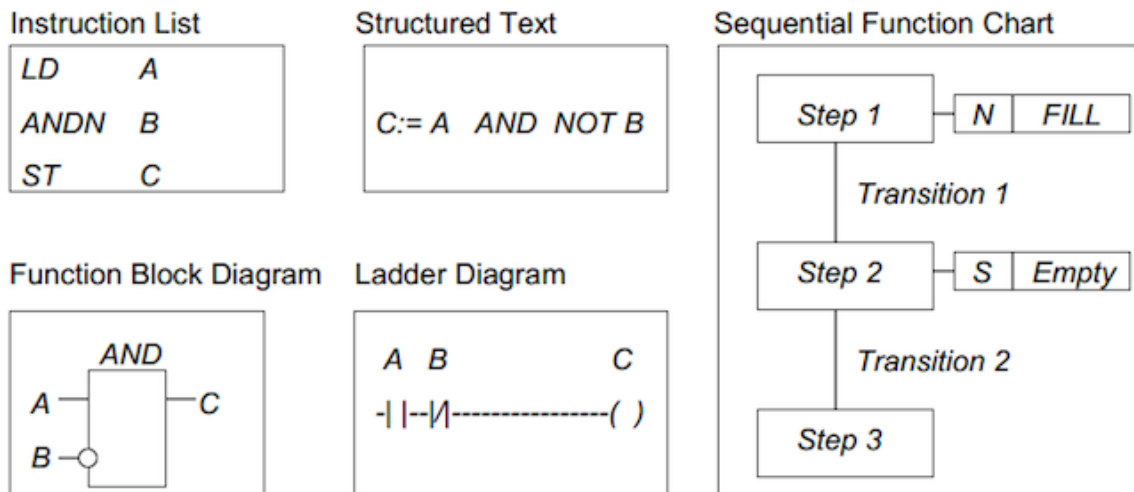
IEC-61131-3 je tedy klíčovým standardem pro programování automatizačních systémů a CoDeSys, jakožto platforma, která využívá tento standard, umožňuje uživatelům snadno a efektivně vytvářet, konfigurovat, programovat a udržovat své automatizační aplikace [17].

Existuje mnoho výhod použití standardu IEC-61131-3 pro programování automatizačních systémů.

Některé z hlavních výhod jsou:

- 1) Flexibilita: Standard IEC-61131-3 poskytuje uživatelům širokou škálu jazyků programování, jako jsou funkční bloky, textové jazyky, které lze použít pro programování automatizačních systémů. To umožňuje uživatelům vybrat si nejvhodnější jazyk pro konkrétní úlohu a získat tak maximální flexibilitu a efektivitu při vývoji aplikací.
- 2) Snadná údržba: Díky standardu IEC-61131-3 se snadno udržují a případně také modifikují. To je důležité pro průmyslové aplikace, kde jsou často požadovány změny za chodu automatizovaných procesů.
- 3) Kompatibilita: Standard IEC-61131-3 je navržen tak, aby byl kompatibilní s jinými standardy a protokoly v průmyslové automatizaci. To umožňuje uživatelům snadno integrovat své automatizační systémy s jinými systémy a zařízeními, což zvyšuje efektivitu a produktivitu.
- 4) Standardizace: Použitím standardu IEC-61131-3 se snižuje náklad na vývoj, testování a údržbu automatizačních aplikací. Standardizace umožňuje uživatelům jednoduše vytvářet a programovat automatizační systémy bez ohledu na to, kdo výrobce zařízení je.

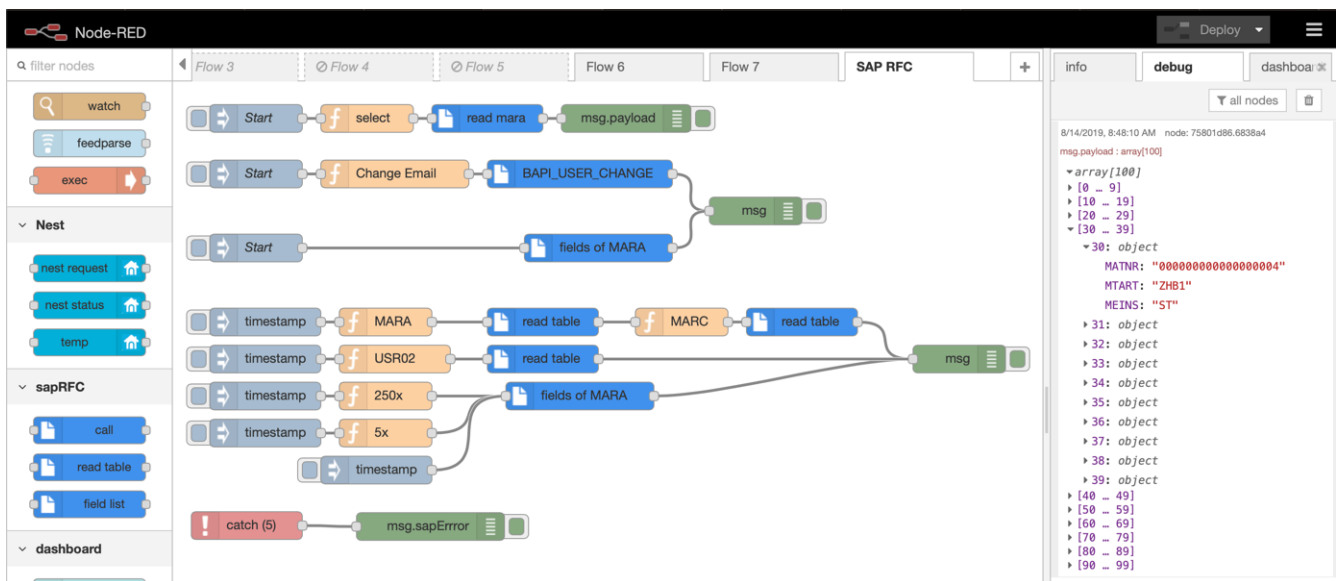
- 5) Široká dostupnost: Standard IEC-61131-3 je široce používán v průmyslové automatizaci, což znamená, že existuje mnoho výrobců, kteří poskytují nástroje pro vývoj aplikací a zařízení, která jsou kompatibilní s tímto standardem. To znamená, že uživatelé mají širokou škálu možností při výběru zařízení a nástrojů pro vývoj svých automatizačních aplikací [17].



Obrázek 6 : Programovací jazyky podle IEC 61131-3 [18]

5.2 Node-RED

Node-RED je programovací nástroj, který byl vyvinutý v roce 2013 a který slouží k propojení hardwaru, API, zařízení a dalších služeb. Je možné jej instalovat lokálně, na zařízení, jako počítače s Windows, Mac a Linux - Raspberry Pi, průmyslových branách, nebo v cloudu. Pomocí široké škály uzlů, dále rozšiřitelných pomocí importovaných knihoven, umožňuje Node-RED snadný způsob vytváření, propojování různých funkcí. Díky prostředí postavenému na Node.js lze v rámci uzlů vytvářet funkce v jazyce JavaScript. Návrh a funkce uzlů v Node-RED jsou intuitivní a dobře zdokumentované na oficiálních webových stránkách Node-RED. Snadno pochopitelné programování založené na tocích umožňuje rychlé pochopení základních konceptů, a proto je Node-RED ideálním nástrojem pro každého. Node-RED kromě uzlů nabízí i dashboard, panel, který slouží jako grafické rozhraní a lze jej použít k dalšímu vylepšování a přizpůsobování toků [19, 20].

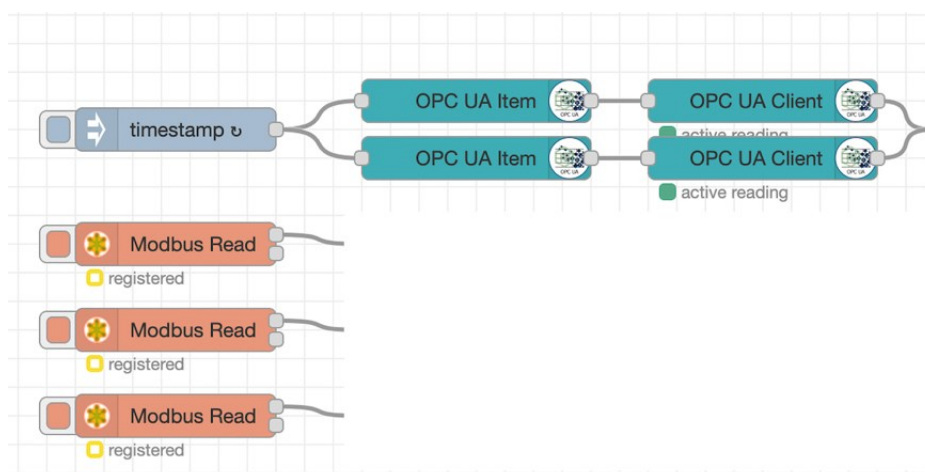


Obrázek 7 : Node-RED prostředí [21]

Hlavní výhodou Node-RED je schopnost spojit různé komunikační protokoly a systémy v jednom prostředí, protože každá technologie nebo linka používá jiný komunikační standard.

Popis k Obrázek 8:

- 1) Modbus Read: Tento uzel umožňuje čtení dat z Modbus zařízení, jako je Festo VTEM nebo CPX-AP-I moduly ke kterým lze připojit různá čidla, jako čidlo tlaku a čidlo průtoku. Modbus Read uzel komunikuje s Modbus serverem a načítá hodnoty z definovaných registrů. Tento uzel lze stáhnout jako součást balíčku "node-red-contrib-modbus".
- 2) OPC-UA: OPC-UA uzly poskytují možnost komunikace s OPC-UA servery, které umožňují sběr a výměnu dat mezi různými průmyslovými systémy a aplikacemi. V Node-RED existují různé uzly pro práci s OPC-UA, jako například "OPC-UA Client" pro čtení a zápis hodnot z OPC-UA serveru, nebo "OPC-UA Server" pro poskytování dat ostatním OPC-UA klientům. Tyto uzly lze stáhnout jako součást balíčku "node-red-contrib-opcu" [22, 23].



Obrázek 8 : Datové toky v Node-RED

5.3 Grafana

Grafana je open-source nástroj pro vizualizaci a monitorování dat, který se vyznačuje svou flexibilitou a širokou škálou možností při zobrazení dat. Tento nástroj je oblíbený pro monitorování různých systémů, včetně průmyslových aplikací, díky své schopnosti snadno pracovat s mnoha databázovými systémy a platformami. Grafana nabízí uživatelsky přívětivé rozhraní, které umožňuje rychlé a snadné vytváření grafů, indikací a vizualizací. Uživatelé mohou přidávat a upravovat panely, nastavovat různé typy grafů a konfigurovat zobrazení dat podle svých potřeb. Další výhodou Grafany je její výkonné vykreslování dat. Grafana disponuje širokou škálou vizualizačních možností, včetně čárových, sloupcových, bodových grafů, heatmap, geografických map a dalších. Tyto možnosti umožňují uživatelům zobrazovat data v nejrůznějších formátech a kombinacích, což usnadňuje analýzu a pochopení dat ze systémů, jako je Festo VTEM. Grafana také nabízí možnost nastavit upozornění a notifikace na základě definovaných podmínek, což umožňuje uživatelům rychle reagovat na změny nebo problémy se systémem. Tato funkce přispívá k zvýšení efektivity a spolehlivosti monitorovaného systému.

- Open-source: Grafana je dostupná zdarma a má aktivní komunitu, která ji neustále vylepšuje.
- Flexibilita: Integrace s širokou škálou databázových systémů a platform.
- Uživatelsky přívětivé rozhraní: Snadné vytváření vizualizací.
- Široká škála vizualizačních možností: Čárové, sloupcové, bodové grafy.
- Upozornění a notifikace: Možnost nastavit upozornění na základě definovaných podmínek.
- Škálovatelnost: Grafana je vhodná pro projekty různých velikostí a složitostí.
- Aktivní komunita a podpora: Přístup k dokumentaci, návodům a podpoře od ostatních uživatelů [24, 25].



Obrázek 9 : Vizualizace v Grafana [24]

6 Festo ventilový terminál

6.1 Základní popis VTEM

Festo VTEM je pneumatická digitální inovace, která kombinuje tradiční pneumatiku s nejmodernější digitální technologií. Pomocí ventilů ovládaných softwarem umožňuje uživatelům provádět mnoho aplikací efektivním a snadným způsobem. Tato inovativní technologie se skládá z pneumatiky, senzorů, elektroniky a softwaru, které společně poskytují inteligentní řešení pro moderní průmyslové aplikace.

Jednou z hlavních výhod VTEM je, že pomáhá podnikům se připravit na Průmysl 4.0, což je čtvrtá průmyslová revoluce, která mění průmysl. S rostoucím významem rozhodování založeného na datech poskytuje digitální technologie VTEM uživatelům údaje o jejich systémech v reálném čase, což jim umožňuje optimalizovat jejich provoz a omezit prostoje. VTEM je navíc navržen tak, aby se snadno používal a konfiguroval, takže je ideální pro zkušené i začínající uživatele. Rozhraní ovládané aplikací zjednodušuje nastavení a údržbu systému.

VTEM obsahuje až osm nezávislých ventilů, každý s možností přepínání funkcí a nastavení parametrů pomocí Festo Motion Apps. VTEM je navržen tak, aby splňoval standardy Průmyslu 4.0 a umožňoval efektivní a inteligentní řízení pneumatických systémů pomocí různých řídicích modulů, jako je například Festo CPX. VTEM je snadno programovatelný v prostředí CoDeSys a nabízí možnosti dálkového řízení pomocí webového rozhraní [10].



Obrázek 10 : Festo Motion Terminal [10]

Ventily terminálu Festo VTEM se skládají ze čtyř 2/2cestných ventilů s piezoelektrickým pilotním ovládním spojených do můstku. Výsledkem je řada speciálních vlastností ve srovnání s ventilovým terminálem s běžnými šoupátky.

V závislosti na aktivaci mohou ventily vykonávat ventilové funkce:

- 2x 2/2cestný ventil
- 2x 3/2cestný ventil
- 4/2cestný ventil
- 4/3cestný ventil
- Proporcionální regulace tlaku
- Proporcionální regulace průtoku

Každému terminálu Motion Terminal je přiřazen balíček licencí Motion App. Ten je možné kdykoliv změnit nebo rozšířit. Nelze přenášet licence mezi terminály. Pro každý terminál jsou pevně vázané licence. Pomocí integrovaných senzorů lze komplexně monitorovat všechny funkce ventilů. Řídící jednotka terminálu Motion Terminal může tyto informace využít ke složitějším úlohám regulace tlaku, průtoku [10].

Základní balíček aplikací:

- funkce jednotlivých ventilů
- proporcionální ventil - průtokový
- regulace rychlosti vzduchu na vstupu i odvětrání
- pohyb ECO
- diagnostika úniků

Tyto Motion Apps jsou v základním balíčku Festo VTEM a jsou zahrnuté v každém Motion Terminal. Tyto aplikace je možné používat současně na všech ventilech.

Další aplikace:

- proporcionální řízení tlaku
- modelová proporcionální regulace tlaku
- přednastavení času pohybu
- nastavitelná úroveň tlaku
- řízení průtoku
- Soft-Stop
- polohování

K základní výbavě lze k Motion Terminal individuálně objednat další zmíněné aplikace [10].

6.2 Technické údaje

Integrované senzory – pomocí integrovaných senzorů lze monitorovat stupeň otevření ventilu (průtok – přívod a odvětrání). Dalším sledovaným údajem je tlak. Tyto hodnoty jsou sledované pro každý ventil a pro každý výstup na jednotlivém ventilu. Navíc, díky monitorování těchto parametrů na

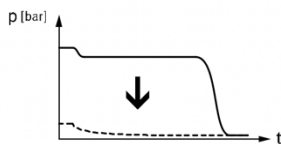
každém výstupu je možné jednoduše provádět diagnostiku celého pneumatického systému a zjišťovat z něj potenciální míru netěsnosti řízeného systému.

Řízený pohyb – možnost přizpůsobení tlaku a průtoku v kombinaci s integrovanými senzory umožňuje přímo ovlivňovat pohyb válce.

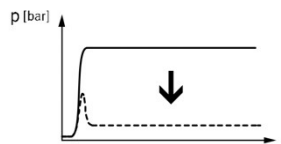
To znamená, že lze splnit širokou škálu požadavků:

- proporcionální regulace přívodu a odvětrání stlačeného vzduchu pro každou komoru válce
- měkký start
- rychlý start
- snížení hlučnosti
- redukce vibrací
- není třeba používat škrtící ventily průtoku odvětraného vzduchu
- není potřeba tlumičů nárazů

Energetická účinnost – pohyb za účelem úspory energie.



Obrázek 12 : Tlak v kanálu 2 [10]



Obrázek 11 : Tlak v kanálu 4 [10]

Snížení množství stlačeného vzduchu používaného v systémech řízení pohybu může přinést několik výhod, které vedou ke snížení nákladů a zlepšení ekonomické efektivity:

- Energetická účinnost: Použití menšího množství stlačeného vzduchu znamená nižší spotřebu energie, což vede ke snížení provozních nákladů. Pokud je komora pneumatického válce plně natlakovaná, dochází ke ztrátám energie při návratu do výchozí pozice. Při snížené síle lze návrat provést s menší spotřebou energie, což vede k vyšší energetické účinnosti.
- Delší životnost: Snížená síla působící na součásti systému může mít za následek delší životnost těchto součástí. Součásti jsou totiž méně namáhány, což snižuje jejich opotřebení. V důsledku toho se snižuje potřeba údržby a náhradních dílů, což dále přispívá k úspoře nákladů.

Cíl: dochází ke snížení množství stlačeného vzduchu používaného v systémech – může vést k výrazným úsporám nákladů a zlepšení ekonomické efektivity.

Energetická účinnost – piezotechnologie

Systém VTEM obsahuje piezoventily, které ovládají otevírání a zavírání ventilů, což umožňuje přesné řízení průtoku vzduchu a tlaku v systému. Vzhledem k tomu, že piezoventily potřebují k provozu velmi málo energie, je VTEM schopen dosáhnout vysoké úrovně energetické účinnosti, což snižuje

provozní náklady a zlepšuje celkovou ekonomickou efektivitu. Kromě energetické účinnosti mají piezoelektrické ventily i další výhody, včetně rychlé doby odezvy, vysoké přesnosti a dlouhé životnosti.

Stupeň otevření piezoventilů lze libovolně regulovat. To umožňuje řídit rychlost průtoku ventilem:

- Bez dalších komponentů
- Časově řízený
- Řízení pomocí senzorů
- Pro každý jednotlivý ventil
- Pro každé jednotlivé připojení ventilu

Regulace stupně otevření spolu s tlakovými čidly integrovanými v terminálu umožňují individuální nastavení tlaku:

- Pro každou jednotlivou komoru válce
- Pro každý jednotlivý ventil
- Pro každé jednotlivé připojení ventilu

Výhody:

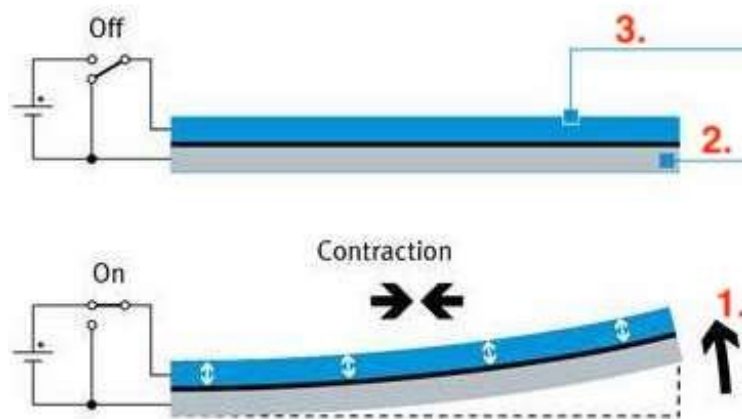
- Nižší spotřeba vzduchu díky částečnému natlakování komory válce
- Variabilní přítlak v koncové poloze nebo při upínání obrobku
- Variabilní nezávislý tlak pro vyjetí i zjetí pístní tyče [26], [27]

6.3 Ventily s piezoelektrickou technologií

Piezoelektrickou technologii lze použít ke konstrukci ventilů pro regulaci tlaku nebo průtoku plynů. Když se na piezoventil přivede napětí, ohne se a zvedne se ze sedla ventilu, čímž umožní průtok plynu ventilem. Množství plynu, které ventilem protéká, je přímo úměrné velikosti napětí přiváděného na piezoventil. Řízením napětí přiváděného na piezoventil lze tedy přesně regulovat průtok a tlak ventilem.

Piezoelektrická technologie má velmi specifické výhody:

- Proporcionální chování
- Nevzniká žádné teplo
- Extrémně nízké nároky na energii
- Velmi kompaktní a lehký
- Dlouhá životnost



Obrázek 13 : Funkce ohybu piezokeramiky [28]

1. Ohýbání
2. Pasivní vodivá plocha
3. Piezokeramika

Piezoelektrická keramika má jedinečnou vlastnost známou jako piezoelektrický jev, která jí umožňuje generovat elektrický náboj při mechanickém namáhání nebo deformaci. Když se na piezokeramický materiál přivede napětí, nabije se a způsobí ohnutí nebo deformaci. Materiál tuto energii uchovává jako kondenzátor. Jednou z jedinečných výhod piezokeramiky je to, že k udržení mechanické deformace nevyžaduje trvalý přísun energie. Materiál si zachová svůj tvar a polohu i po vypnutí napájení. Díky tomu jsou ideální pro použití v aplikacích například v piezoelektrických ventilech, kde je vyžadováno přesné ovládání s minimálním příkonem energie. Aby piezokeramický materiál znovu získal svůj původní tvar, musí být aktivně vybit, čehož lze dosáhnout přivedením zpětného napětí nebo zkratováním materiálu. Tím se materiál vrátí do původního stavu. Množství energie potřebné k nabíjení a vybíjení je velmi malé, obvykle v řádu několika miliwattů, protože kapacita piezokeramiky je relativně malá. Naproti tomu elektromagnetické ventily vyžadují k udržení otevřeného stavu nepřetržitý přísun energie, který může spotřebovat několik wattů energie a způsobit zahřátí elektromagnetického ventilu. Tato nepřetržitá spotřeba energie může být značnou nevýhodou v aplikacích, kde je energetická účinnost kritická, například v zařízeních napájených z baterií nebo v aplikacích, kde je potřeba minimalizovat vznik tepla.

Tyto ventily mají mnohem rychlejší reakční dobu než elektromagnetické ventily, což znamená, že je lze otevírat a zavírat rychleji a přesněji, čímž se snižuje spotřeba energie a zlepšuje celkový výkon systému. Piezoelektrické ventily jsou navíc kompaktnější a lehčí než elektromagnetické ventily, takže jsou ideální pro použití v přenosných a miniaturních zařízeních.

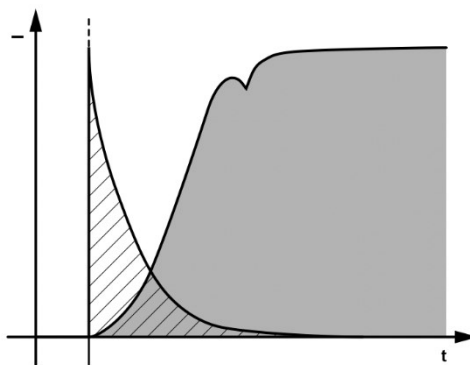
Piezoelektrické ventily vyžadují ke své činnosti vyšší napětí než elektromagnetické ventily, obvykle v rozmezí 250-310 V. Toto napětí je mnohem vyšší než napětí 5 V, 12 V nebo 24 V, které se

obvykle používá k napájení elektromagnetických ventilů. V důsledku toho je k vytvoření potřebného napětí a k nabíjení a vybíjení zapotřebí elektronika piezoelektrického ovladače [28].



Obrázek 14 : 2/2 proporcionální ventil s piezoelektrickou technologií [29]

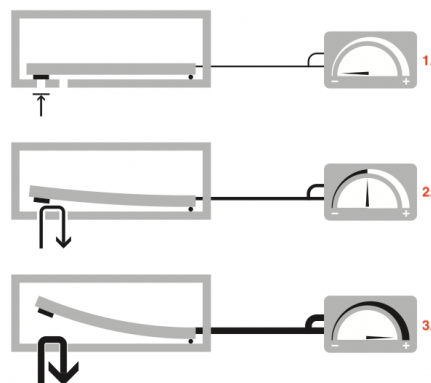
Ačkoli se vysoké napětí používané v piezoelektrických ventilech může zdát z hlediska bezpečnosti znepokojivé, proud, který ventilem protéká, je velmi nízký, obvykle ne více než 5 mA. Kromě toho může být piezoelektronika navržena tak, aby byla elektricky bezpečná, takže napětí při dotyku kontaktů klesne na hodnotu výrazně nižší než 50 V. To zajišťuje, že ventil lze bezpečně a spolehlivě provozovat v různých aplikacích. Vzhledem k rozdílům v požadavcích na napětí a napájení nelze piezoelektrické ventily použít jako náhradu elektromagnetických ventilů bez provedení změn v řídicí elektronice [27, 29].



Obrázek 15 : Porovnání piezoventil a elektromagnetický ventil [27]

Proporcionální ventily s piezoelektrickou technologií využívají k udržení aktivního stavu kapacitní princip, což znamená, že energii potřebují pouze na začátku k nabití piezokeramiky. Jakmile je ventil nabitý, není k udržení jeho stavu potřeba žádná další energie. To je rozdíl od elektromagnetických ventilů, které k udržení aktivního stavu vyžadují trvalý elektrický proud. Skutečnost, že piezoelektrické ventily nevyžadují trvalý elektrický proud, znamená, že spotřebovávají

až o 95 % méně energie než elektromagnetické ventily. Tím se nejen snižují náklady na energii, ale také nevytvářejí žádné teplo [27].

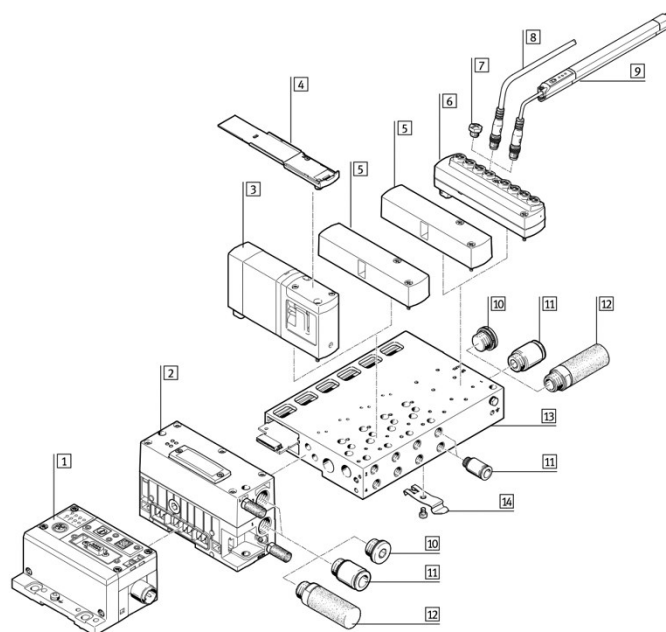


Obrázek 16 : Stupně regulace [27]

1. Bez napětí – žádný průtok
2. Střední napětí – střední průtok
3. Vysoké napětí – velký průtok

Piezelektrické ventily jsou ovládány pomocí proměnného napětí, které zajišťuje proporcionální řízení buď tlaku, nebo průtoku, v závislosti na konstrukci ventilu. Výstupní chování ventilu je pak řízeno integrací snímače do uzavřeného regulačního obvodu. Lineárního chování však lze dosáhnout kombinací řídicí elektroniky se snímačem průtoku. Snímač průtoku může poskytovat zpětnou vazbu řídicí elektronice a umožnit jí upravovat vstupní napětí piezelektrického ventilu v reálném čase tak, aby bylo dosaženo požadovaného průtoku nebo výstupního tlaku [27].

6.4 Konstrukce VTEM



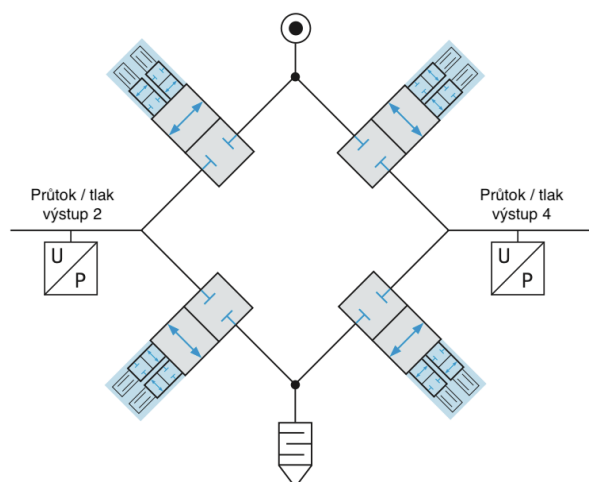
Obrázek 17 : Přehled periférii ventilového terminálu [10]

Tabulka 3 : Popis periférii VTEM [10]

Číslo	Označení	Popis
1	CPX modul (PLC)	řídící blok, komunikační modul, I/O moduly
2	řídící jednotka terminálu	jednotka pro VTEM
3	těleso ventilu	obsahuje čtyři piezoelektricky ovládané sedlové ventily
4	identifikační štítek	pro ventily
5	krycí deska	pro neobsazenou pozici ventilu nebo vstupních modulů
6	vstupní modul	pro připojení senzorů
7	krytka	pro uzavření nevyužitých portů
8	kabel pro připojení	pro připojení senzorů
9	snímač polohy	analogový snímač polohy pro vstupní modul
10	záslepka	pro uzavření nevyužitých portů
11	šroubení	pro připojení hadic
12	tlumič	pro odvětrané porty
13	připojovací deska	pneumatické a elektrické propojení
14	upevnění na DIN lištu	-

6.5 Konstrukce ventilu

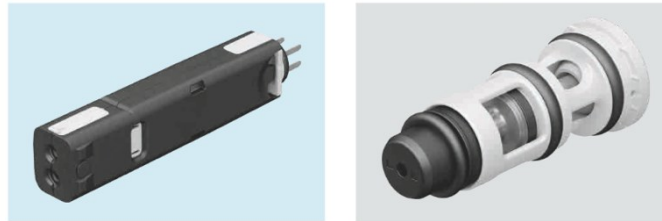
Můstkový obvod ve ventilu Festo Motion Terminal je navržen tak, aby zajišťoval přesné řízení a monitorování pneumatických funkcí. Vychází ze základních prvků funkcí pneumatických ventilů a využívá čtyři 2/2-cestné sedlové ventily zapojené do série, které tvoří můstek.



Obrázek 18 : Můstkové zapojení ve ventilu [30]

Každý sedlový ventil (šedá část na Obr. 18) je proporcionálně pilotován a řízen dvěma piezoelektrickými ventily (modrá část na Obr. 18), které jsou zodpovědné za regulaci průtoku vzduchu ventilem. Tyto piezoelektrické ventily jsou řízeny integrovaným softwarem, které využívají data ze snímačů v reálném čase k nastavení polohy a tlaku ventilu podle potřeby. Snímače se používají ke

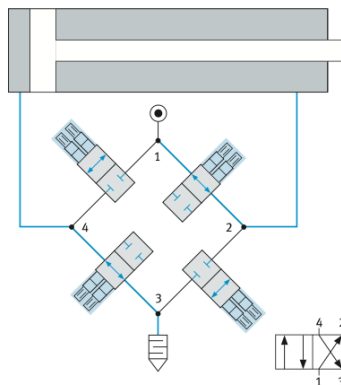
sledování zdvihu každého sedlového ventilu, což poskytuje přesnou zpětnou vazbu o poloze a pohybu ventilu. Tlakové čidla rovněž monitorují tlak na výstupech 2 a 4. Čtyři pilotní patроны ve ventilu (modrá část na Obr. 18), tvoří celkem osm proporcionálně řízených 2/2cestných ventilů, což zajišťuje přesnou kontrolu nad průtokem vzduchu v systému.



Obrázek 19 : Piezoelektrický pilotní ventil (vlevo) a sedlový ventil (vpravo) [30]

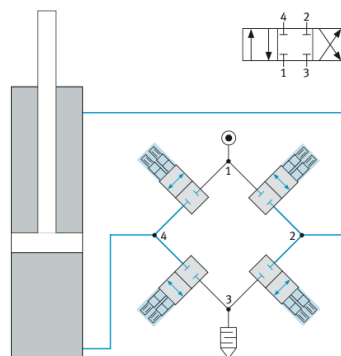
Příklady od jednoduchých funkcí až po složité pohybové úlohy:

- 1) Pomocí jednoho ventilu ve VTEM lze ovládat pneumatický dvojčinný válec s nejčastěji používaným 4/2 ventilem. Na schématické značce můžeme vidět, že v základním stavu je výstup 2 pod tlakem a výstup 4 je odvětráný.



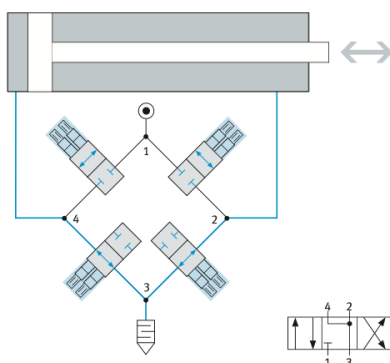
Obrázek 20 : Řízení pomocí 4/2 ventilu [30]

- 2) Se stejným VTEM ventilem při změně parametrů lze ovládat dvojčinný válec pomocí 4/3 ventilu v klidovém stavu uzavřený.

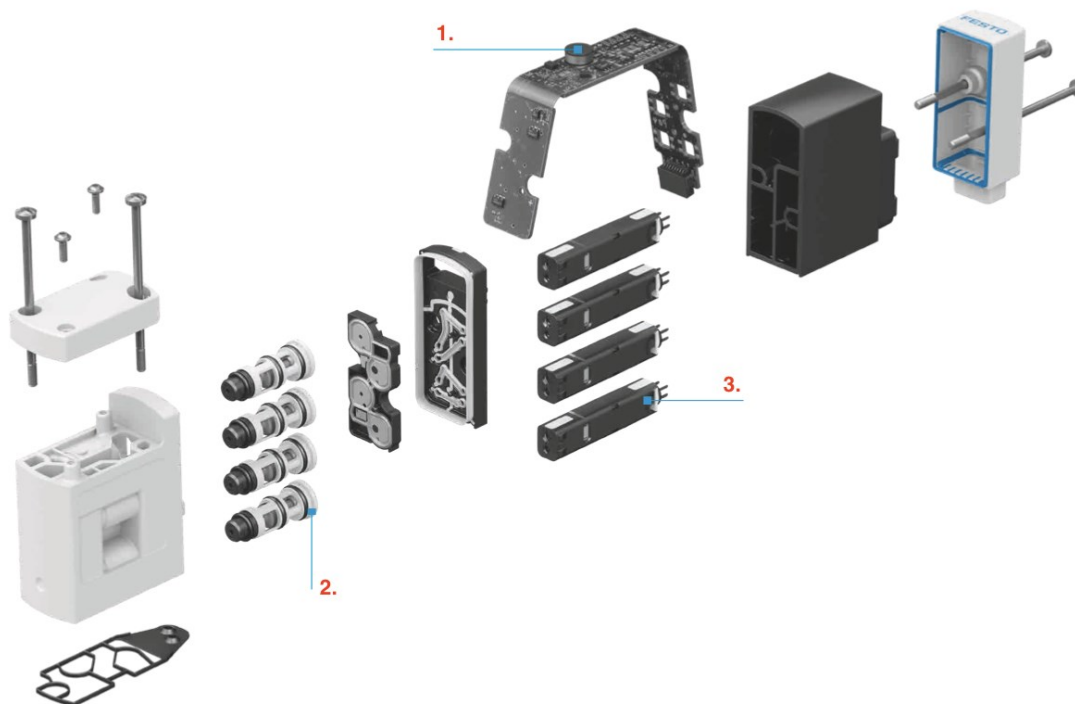


Obrázek 21 : Řízení pomocí 4/3 ventilu v klidovém stavu uzavřený [30]

- 3) Se stejným ventilem při změně parametrů lze ovládat dvojčinný válec pomocí 4/3 ventilu v klidovém stavu odvětráný.



Obrázek 22 : Řízení pomocí 4/3 ventilu v klidovém stavu odvětráný [30]



Obrázek 23 : Rozpad ventilu na jednotlivé části [30]

Popis k Obrázek 23:

1. Elektronika ventilů se senzory – elektronika obsahuje snímače zdvihu, tlaku a teploty. To umožňuje optimální řízení a sledování stavu výkonu ventilu.
2. Čtyři piezoelektrické pilotní ventily - zajišťují extrémně krátké spínací časy, nízkou spotřebu energie a odolnou a robustní technologii. Piezoelektrické ventily jsou známé svým přesným řízením a rychlou dobou odezvy
3. Čtyři sedlové ventily - lze ovládat jednotlivě, což umožňuje maximální flexibilitu při řízení průtoku vzduchu ventilem.

6.6 Webové rozhraní a aplikace

Existuje možnost připojit a snadno nastavovat/parametrizovat Festo VTEM přímo k počítači prostřednictvím ethernetového připojení. Pomocí tohoto připojení dokážeme jednoduše komunikovat, nastavovat celý modul CTMM, vidět aktuální hodnoty vstupního tlaku, testovat jednotlivé aplikace, sledovat aktuální hodnoty na digitální a analogových vstupech. Tato možnost připojení přes prohlížeč nám umožňuje pochopit všechny aplikace, které je možné používat v rámci ventilového terminálu. V prostředí snadno ovladatelném uživatelem lze přiřadit aplikaci k ventilům, nastavit jejich parametry a otestovat funkčnost těchto aplikací například s pneumatickými pohony. Každý ventil může mít v jednom okamžiku jen jednu aplikaci. V tom případě, pokud máme terminál se čtyřmi ventily, tak v jednom okamžiku lze používat čtyři ventily se čtyřmi aplikacemi přiřazené k jednotlivým ventilům.

Aby bylo možné vidět terminál, musí uživatel nastavit konkrétní IP adresu na svém počítači, aby byl ve stejném rozsahu, jako je IP adresa terminálu. Poté se IP adresa řídicí jednotky terminálu CTMM vloží do adresního řádku webového prohlížeče a načte se rozhraní. Před přístupem k terminálu musí uživatel zadat heslo (v továrním nastavení je heslo "vtem"). Práce v tomto prostředí je velmi intuitivní a jednoduchá – bez předpokladu znalosti terminálu a webového rozhraní.

Jednotlivé aplikace:

- 1) Funkce jednotlivých ventilů – systém umožňuje rychlé a snadné provádění úprav standardní funkce ventilu, a to i za provozu. To znamená, že funkci ventilu lze upravit tak, aby splňovala širokou škálu požadavků pouhou změnou parametru, aniž by bylo nutné ventil složitě rekonfigurovat nebo vyměňovat. Funkci ventilu lze například upravit ze 4/2cestného na 4/3cestný nebo 3/2cestný v závislosti na konkrétních potřebách dané aplikace. Tato úroveň flexibility umožňuje přizpůsobit systém široké škále aplikací [31].



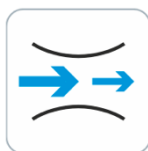
Obrázek 24 : Grafická ikona – funkce jednotlivých ventilů [32]

- 2) Proporcionální ventil (průtokový) – obsahuje proporcionální směrový regulační ventil, který umožňuje přesné řízení průtoku vzduchu v pneumatickém systému. Díky této technologii může uživatel ovládat funkci ventilu zadáním stupně otevření v rozmezí 0 až 100 %, což umožňuje přesné řízení. Kromě toho systém umožňuje uživateli určit, jak rychle se má ventil otevřít, což zajišťuje plynulý rozběh [31].



Obrázek 25 : Grafická ikona – proporcionální ventil (průtokový) [32]

- 3) Regulace rychlosti vzduchu na vstupu i odvětrání – obsahuje funkci regulace průtoku přiváděného a odvětrávaného vzduchu, která umožňuje pohodlné a účinné nastavení rychlosti průtoku vzduchu v systému. Díky této aplikaci lze eliminovat manuální nastavení a potřebu samostatných škrticích ventilů pro regulaci průtoku, což zjednodušuje provoz pneumatického systému. Funkce regulace průtoku přiváděného a odvětrávaného vzduchu umožňuje uživateli rychle nastavit rychlost, čímž je zajištěné přesné nastavení a kontrola. Tato aplikace také poskytuje vyšší úroveň bezpečnosti, protože nehrozí riziko neoprávněné manipulace s přenastavením fyzických škrticích ventilů. Poslední výhodou je jednoduché naprogramování sekvence pohybu s různým nastavením ventilu průtoku, což umožňuje pracovat s vysokou mírou přesnosti a účinností [31].



Obrázek 26 : Grafická ikona – Regulace rychlosti vzduchu na vstupu i odvětrání [32]

- 4) Diagnostika úniků – diagnostika netěsností se používá k detekci a lokalizaci netěsností v systému nebo aplikaci. Cílem diagnostiky netěsností je zkrátit prostoje systému a zabránit poškození systému nebo jeho součástí co nejrychlejší identifikací a odstraněním netěsností a úniků. Diagnostiku úniků lze použít k odhalení jakéhokoli abnormálního chování a k definování prahových hodnot pro přijatelné úrovně úniků. Použití diagnostiky netěsností může pomoci zabránit odstávkám systému a ve výsledku snížit náklady [31].



Obrázek 27 : Grafická ikona – diagnostika úniků [32]

- 5) ECO pohyb – umožňuje provozovat pohony s minimálním tlakem potřebným pro dané zatížení. To znamená, že se eliminuje nárůst tlaku v komoře pohonu na konci pohybu, což vede k výrazné úspoře energie až o 70 %. Snížením tlaku používaného k ovládání pohonu se snižuje i množství potřebné energie, což vede ke snížení nákladů na energii. Pohyb ECO představuje způsob, jak snížit náklady při zachování vysoké úrovně efektivity provozu. Jedná se také o ekologické řešení, protože pomáhá snižovat spotřebu energie a emise uhlíku [31].



Obrázek 28 : Grafická ikona – ECO pohyb [32]

- 6) Nastavitelná úroveň tlaku – umožňuje šetřit energii individuálním nastavením tlaku a rychlosti pro každý pohyb. Díky této technologii lze měnit tlak a rychlost v rámci jednoho zdvihu, což umožní dosáhnout rychlého rozjezdu, plynulého pohybu do koncové polohy, výkonného lisování a energeticky úsporných návratů do výchozí pozice se sníženým tlakem [31].



Obrázek 29 : Grafická ikona – nastavitelná úroveň tlaku [32]

- 7) Přednastavení času pohybu – umožňuje zvýšit produktivitu výrazným zkrácením doby cyklu. Díky této technologii je cíleně řízen tlak a odvětrání vzduchu ze systému. Systém průběžně porovnává nastavené a skutečné výchozí hodnoty a podle potřeby upravuje parametry systému. To znamená, že systém dokáže automaticky upravit hodnoty v případě vlivů, jako je zvýšené tření nebo opotřebení. Uvedení do provozu je rychlé, snadné a intuitivní, bez nutnosti upravovat nastavení. To usnadňuje operátorům rychlé uvedení do provozu, což snižuje prostoje a zvyšuje celkovou efektivitu. [31]



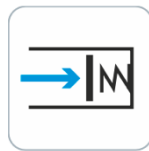
Obrázek 30 : Grafická ikona – přednastavení času pohybu [32]

- 8) Proporcionální řízení tlaku – umožňuje digitálně řídit tlak a podtlak současně a individuálně až na 16 nezávislých kanálech. Díky této technologii může jeden VTEM nahradit až 16 redukčních ventilů, což vede k výrazným úsporám hardwaru a prostoru [31].



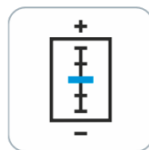
Obrázek 31 : Grafická ikona – proporcionální řízení tlaku [32]

- 9) Soft stop – umožňuje extrémně dynamický přesun těžkých břemen a zároveň zkracuje dobu cyklu až o 70 %. Tato technologie zajišťuje plynulé pohyby, zejména do koncové polohy, bez tlumičů nárazů. Tím se zvyšuje životnost systému, výrazná minimalizace údržby a zvyšování produktivity. S funkcí Soft Stop se Motion Terminal učí v průběhu pohybů a průběžně upravuje všechny parametry tak, aby splňovaly zadané požadované hodnoty. To znamená, že tato technologie může v průběhu času zlepšovat svůj výkon, což vede k ještě efektivnějšímu a spolehlivějšímu provozu [31].



Obrázek 32 : Grafická ikona – soft stop [32]

- 10) Polohování – umožňuje volně polohovat válec podél celého pracovního zdvihu. Zadáním mezních hodnot parametrů rychlost, zrychlení lze snadno ovládat pohyb válce a zajistit jeho plynulý pohyb. Aplikace je obzvláště užitečná v operacích, které vyžadují přesné polohování. Pouze pro válce s pracovním zdvihem do 500 mm [31, 32].



Obrázek 33 : Grafická ikona – polohování [32]

- 11) Řízení průtoku – umožňuje digitálně regulovat průtok stlačeného vzduchu a plynů až do 600 l/min pro několik nezávislých kanálů současně. Tato technologie umožňuje přesné dávkování. Regulace průtoku je spolehlivé, účinné řešení, které umožní přesně regulovat průtok stlačeného vzduchu a zajistit používání pouze takového množství stlačeného vzduchu nebo plynu, které je zapotřebí, a tím snížit spotřebu energie, náklady [31, 32].



Obrázek 34 : Grafická ikona – řízení průtoku [32]

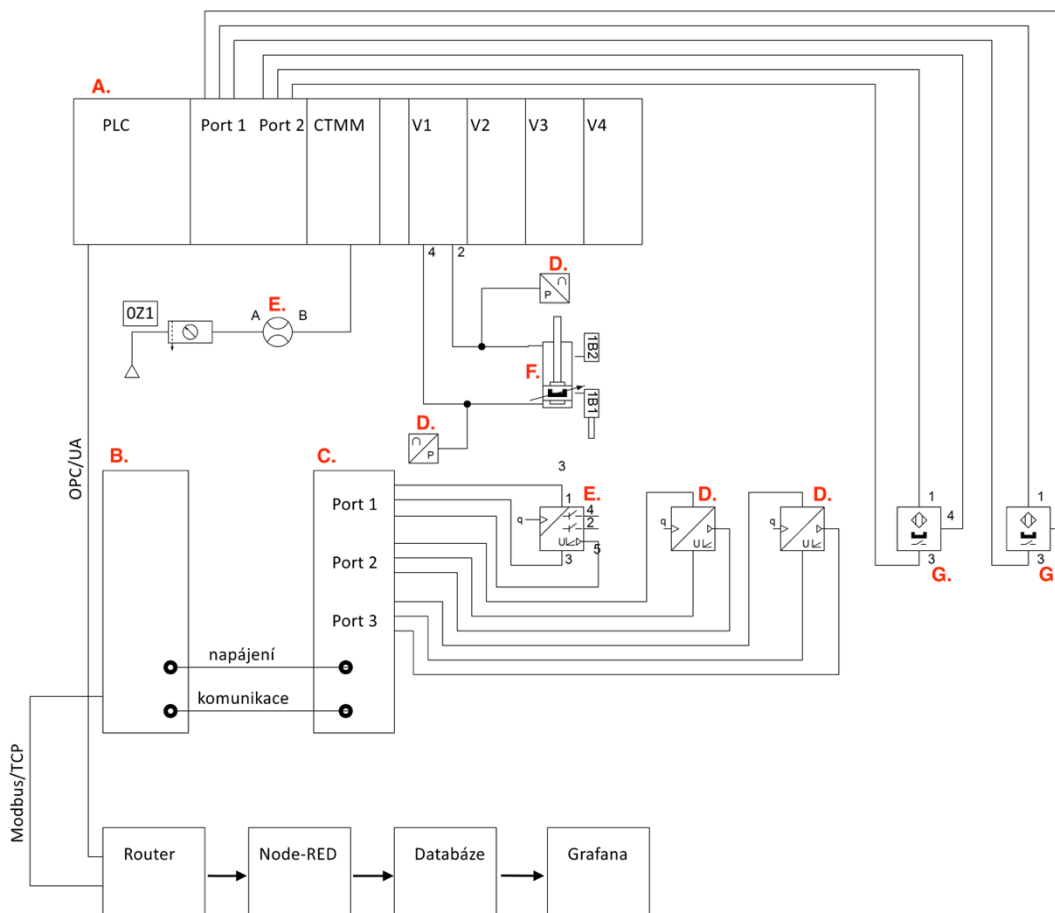
7 Praktická část

Praktická část této práce se zabývá řízením, analýzou a porovnáním tří různých metod řízení tlaku a průtoku v pneumatickém válci. Cílem je prozkoumat efektivitu a účinnost jednotlivých nastavení a identifikovat optimální řešení pro danou aplikaci. Důvod řešení této problematiky je, že použití stejného tlaku pro vyjetí i zajetí válce je standardní způsob řízení pneumatických válců a velmi ekonomicky neefektivní způsob. Tento přístup je v mnoha případech používán z důvodu jednoduchosti a snadného nastavení. V tomto případě je do komory válce přiváděn stlačený vzduch o konstantní hodnotě tlaku pro oba směry pohybu válce, což umožňuje jednoduché řízení. Je třeba poznamenat, že tento způsob nemusí být vždy neekonomičtější. Použití konstantního tlaku pro vyjetí i zajetí válce může vést ke značnému plýtvání energií, protože při návratu válce zpět do výchozí polohy je často zapotřebí menší síla než při pohybu vysunutí (práce se často vykonává jen v jednom zdvih). Při návratu válce do výchozí polohy je totiž potřeba překonat napuštěný tlak v komoře, zatímco pro vysunutí pístní tyče je potřeba překonat sílu potřebnou pro zvedání břemene a tlak v komoře válce. Výhodou použití konstantního tlaku pro oba směry pohybu je jednoduchost a snadné řízení. Tato metoda může být vhodná pro aplikace, kde není třeba optimalizovat energetickou účinnost nebo kde nejsou velké rozdíly v potřebných silách pro oba směry pohybu. Na druhou stranu, nevýhodou tohoto přístupu je zvýšená spotřeba stlačeného vzduchu a energetická neefektivita. V případech, kde jsou energetické náklady důležité a je třeba optimalizovat provoz, může být vhodnější zvolit jiné metody řízení, například snižování tlaku při návratu válce do výchozí polohy nebo použití algoritmů pro dynamické řízení tlaku a průtoku. Použití konstantního tlaku pro vyjetí i zajetí válce má své výhody a nevýhody. V kontextu rostoucích cen energií, nejistoty na trhu a tlaku na firmy, aby snižovaly provozní náklady, nabývá otázka energetické účinnosti a úspory zdrojů stále většího významu.

V situaci, kdy ceny energií neustále rostou, je důležité, aby firmy hledaly způsoby, jak optimalizovat své procesy a snižovat celkové náklady. Toto plýtvání energií může negativně ovlivnit finanční výsledky podniků a zhoršit jejich konkurenceschopnost na trhu.

7.1 Soupis použitých komponentů

Na obrázku níže je zobrazeno schéma zapojení a propojení mezi jednotlivými komponentami včetně pneumatické a elektrické části. Toto schéma ukazuje, jak jsou komponenty mezi sebou propojeny a jak spolu komunikují. Pneumatická část zahrnuje ventily, senzory a válec. Elektrická část se skládá z PLC a vstupně/výstupních karet a modulů, senzorů.



Obrázek 35 : Schéma zapojení jednotlivých komponentů [9]

A. Festo VTEM – obj. č. 8047502



Obrázek 36 : Festo VTEM [33]

B. CPX-AP-I – Rozhraní Ethernet/IP (CPX-AP-I-EP-M12),



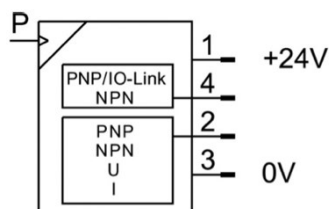
Obrázek 37 : Komunikační modul CPX-AP-I [34]

C. Master IO-Link (CPX-AP-I-4IOL-M12)



Obrázek 38 : IO-Link master modul [35]

D. Čidlo tlaku SPAU - SPAU-P10R-W-G18FD-L-PNLK-PNVBA-M12U

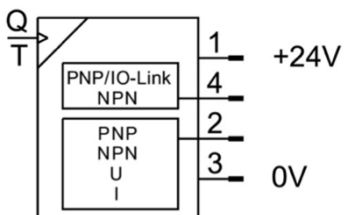


Obrázek 39 : Schématická značka čidla tlaku [36]

Tabulka 4 : Základní parametry čidla tlaku [36]

Měřená veličina	relativní tlak
Metoda měření	piezorezistivní čidlo tlaku
Přetížení - maximální	15 bar
Rozsah měření – minimální	0 bar
Rozsah měření – maximální	10 bar
Protokol	IO-Link

E. Čidlo průtoku - SFAB-600U-HQ10-PNLK-PNVBA-M12



Obrázek 40 : Schématická značka čidla průtoku [37]

Tabulka 5 : Základní parametry čidla průtoku [37]

Měřená veličina	teplota, hmotnostní průtok, objem
Směr proudění měření	v jednom směru
Metoda měření	důsledek tepelné ztráty
Rozsah měření – minimální	6 l/min
Rozsah měření – maximální	600 l/min
Protokol	IO-Link

F. Pneumatický válec – ADN-50-300-A-P-A



Obrázek 41 : Pneumatický válec Festo ADN [38]

Tabulka 6 : Základní parametry pneumatického válce [38]

Průměr pístu	50 mm
Zdvih	300 mm
Princip činnosti	dvojčinný válec
Pneumatické připojení	G1/8
Provozní tlak válce	0,6 – 10 bar
Tlumení v koncových polohách	jedná se o samočinné nastavení

G. Magnetické čidla polohy - SME-8M-DS-24V-K-1-M8D



Obrázek 42 : Magnetické čidlo polohy [39]

Tabulka 7 : Základní parametry magnetického čidla [39]

Princip měření	jazyčkové relé - magnetické
Kontrolka sepnutí	žlutá LED
Spínací výstup	bipolární
Funkce čidla	spínací a rozpínací kontakt

7.2 Algoritmus v CoDeSys

7.2.1 Výpočty a zápis hodnot

Tento program se po zapsání vstupních hodnot a stisku tlačítka spustí následujícím způsobem.

1. V prvním kroku proběhne zavedení vstupních proměnných z vizualizace do programu na příslušný funkční blok. Na základě těchto proměnných se program vykoná. Je zde zvolen: Počáteční, koncový tlak a čas vykonání.
2. V programu je vytvořen funkční blok pro výpočet jednotlivých bodů křivky pro úpravy tlaku/průtoku. Na jeho začátku je zavedená následující podmínka IF:

```

IF NOT start THEN
    hugo := 0;
    hodnota:=pocatecni_hodnota;
END_IF

```

Obrázek 43 : Počátek algoritmu

V této podmínce IF se provede přesun do CASE hugo, kde se provádí výpočet bodů zvolené křivky a přiřadí do „hodnota“ hodnotu z „pocatecni_hodnota“, což je počáteční hodnota zvolená ve vizualizaci uživatelem - to z toho důvodu, aby první proměnná byla právě zadaná počáteční hodnota.

3. Poté je běh programu přesunut do již zmíněného CASE 0, kde jsou zavedeny parametry času a je rozhodnuto o spuštění výpočtu křivky (přesun na CASE 10).
4. V této části programu je vytvořená IF podmínka. Pokud je splněná podmínka „vzb=1“, dojde k vykonání. Pro tento příklad je zvolena hodnota 1, která reprezentuje výpočet podle přímky. Tento IF vypadá následovně:

10:

```
IF vzb=1 THEN
  d:=TIME_TO_REAL(TIME()-TimeTemp);
  c:= d/Time_Calc;
  hodnota:=LREAL_TO_INT(pocatecni_hodnota-c*(pocatecni_hodnota-koncova_hodnota));
END_IF
```

Obrázek 44 : Výpočet

Pokud je tedy hodnota „vzb=1“, vypočtou se pomocné proměnné pro časový interval výpočtu a do proměnné „hodnota“ je zapsán výsledek pro první hodnotu nastavení tlaku/průtoku. Poté je tento IF ukončen a následuje rozhodnutí o ukončení výpočtu parametrů křivky. Pokud je překročen celkový čas nastavený pro průběh křivky, tak se do proměnné „hodnota“ zapíše hodnota koncového tlaku/průtoku a program přejde do CASE 100. Zde je již program přesunut na začátek CASE, kde čeká na další spuštění.

Pokud tento čas není překročený, je opět proveden příslušný IF, kde se provede výpočet a přesun další hodnoty průtoku/tlaku.

```
//konec procesu

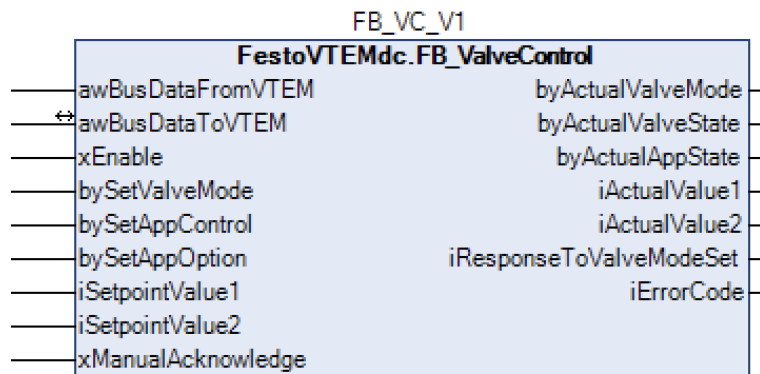
IF (TIME() >= (TimeTemp+Time_Total)) THEN
  hodnota:=koncova_hodnota;
  hugo:=100;
END_IF

100:
  IF NOT start THEN
    hugo:=0;
  END_IF

END_CASE
```

Obrázek 45 : Konec procesu

5. Hodnoty z tohoto funkčního bloku se zapisují na příslušný funkční blok pro ovládání tlaku/průtoku ve válci.



Obrázek 46 : Funkční blok pro Festo VTEM ventil [40]

Popis k Obrázek 46:

K tomuto bloku se zapisují jednotlivé vypočtené hodnoty do SetpointValue1 a SetpointValue2.

- 1) App Option (Byte 1) – není používáný
 - 2) Set Valve Mode – Volitelná úroveň tlaku – hodnota 08
 - 3) Setpoint Value 1 (Byte 2 ... 3): nastavení stupně otevření – odvětraného vzduchu
 - 4) Setpoint Value 2 (Byte 4 ... 5): nastavení tlaku
 - 5) App Control (Byte 0, Bits 6 ... 7): Stav ventilu(B = blokováný, E = odvětraný, P = pod tlakem)
- [41]

Tabulka 8 : Tabulka pro nastavení App Control [41]

App control hodnota							
00 - blokováný		01 – vyjetí		02 - zjetí		03 - odvětraný	
(2)	(4)	(2)	(4)	(2)	(4)	(2)	(4)
B	B	E	P	P	E	E	E

FestoVTEMdc.FB_ValveControl je knihovní blok v programovacím prostředí CoDeSys, který slouží k řízení pneumatického ventilu Festo VTEM. Blok obsahuje funkce pro nastavení parametrů ventilu, jako jsou tlaky a průtoky (% otevření / uzavření škrtkového ventilu), funkce ventilu, mód ventilu. První dva vstupy tohoto bloku je nastavení komunikace a přenos dat s VTEM terminálem:

- V1_BusDataFromVTEM AT %IB2 : ARRAY[0..2] OF WORD;
- V1_BusDataToVTEM AT %QB0 : ARRAY[0..2] OF WORD;

7.2.2 Inicializace

```
CASE hugo OF
0:
  enable_v1:=FALSE;
  IF (FB_VC_V1.iResponseToValveModeSet = FestoVTEMdc.FB_not_enabled) THEN
    hugo:=5;
  END_IF
  IF (FB_VC_V1.iResponseToValveModeSet = 1037) THEN
    hugo:=1;
    manack:=0;
  END_IF

1:
  manack:=1;
  IF (FB_VC_V1.iResponseToValveModeSet <> 1037) THEN
    manack:=0;
    hugo:=0;
  END_IF

5:
  IF (FB_VC_V1.iResponseToValveModeSet = 1037) THEN
    hugo:=1;
    manack:=0;
  END_IF
  enable_v1:=TRUE;
  mode_v1 :=mode_8;
  appcontrol_v1:=appcontrol_block;
  setpoint1_v1:=set_zasunout_prutok;
  setpoint2_v1:=set_zasunout_tlak;
  appoption_v1:=0;
  IF (FB_VC_V1.iResponseToValveModeSet = FestoVTEMdc.MA_running) THEN
    hugo:=10;
  END_IF
```

Obrázek 47 : Kód z CoDeSys [42]

Tento kód představuje část programu pro počáteční inicializaci. V závislosti na stavu "hugo" jsou nastavovány další proměnné a rozhoduje se o dalším postupu programu.

V případě, že je hodnota "hugo" rovna 0, ventil "V1" není povolený a program čeká na odpověď. Pokud je odpověď "acknowledge needed" (hodnota 1037), program přechází do stavu 1 a nastavuje proměnnou "manack" na 1, což znamená – potvrzení chyby.

V případě, že je stav hugo" roven 5, ventil "V1" se povoluje, nastavuje se režim "mode_8" a další parametry jako "appcontrol_v1" a "appoption_v1". Pokud poté přijde odpověď "MA_running", program přechází do stavu 10.

7.3 Popis realizovaných řízení

- A. První případ: V tomto obvodu se pro vyjetí i zjetí válce používá konstantní tlak o hodnotě 6 bar. Pro vyjetí válce je do komory válce napouštěný stlačený vzduch o hodnotě 6 bar, který generuje sílu pro zvedání břemena o určité hmotnosti. Když je břemeno zvednuto a válec se

nachází ve svislé poloze, v komoře zůstává stlačený vzduch o hodnotě 6 bar. Při následném zajetí válce je do komory opět napouštěn vzduch o tlaku 6 bar, který vykonává sílu pro přesun břemena do výchozí polohy. Tímto způsobem dochází k vytlačování stlačeného vzduchu o hodnotě 6 bar z komory válce, což vede ke značnému plýtvání energií a zvýšeným provozním nákladům.

- B. Druhý případ: V tomto obvodu se pro vyjetí válce používá tlak 6 bar, ale pro zajetí válce se používá redukovaný tlak o hodnotě 3 bar. Při vyjetí válce je do komory napouštěn stlačený vzduch o hodnotě 6 bar, což generuje sílu pro zvedání břemena. Následně po zvednutí břemena se v komoře nachází stlačený vzduch o hodnotě 6 bar. Při zajetí válce se do komory válce napouští vzduch o redukovaném tlaku 3 bar, což je dostačující pro navrácení břemena do výchozí polohy a zároveň umožňuje úsporu energie ve srovnání s konstantním tlakem 6 bar.
- C. Třetí případ: V tomto obvodu se dynamicky mění tlak v závislosti na vstupních podmínkách (nastavení počátečního a koncového tlaku). Algoritmus v PLC řídí tlak podle přímky, takže na počátku v zajetí poloze začínáme s tlakem 6 bar a algoritmus řídí snižování tlaku, aby byla dosažena úspora energie a nákladů. Po vyjetí válce je tedy v komoře pouze minimální tlak potřebný pro udržení břemena ve svislé poloze (nastavená hodnota → koncový tlak). Pro zajetí válce se opět využívá redukovaný tlak, což je v tomto případě velmi efektivní, neboť v komoře je tlak vzduchu pouze o hodnotě 1 bar a vytlačení této hodnoty tlaku vzduchu je mnohem jednodušší a rychlejší, než vzduch o tlaku 6 bar.

7.4 Pneumatická část a sběr dat

Řízený obvod se skládá z pneumatické válce, který je připojený k Festo ventilovému terminálu. Válec se nachází ve svislé poloze a má na sobě břemeno o určité hmotnosti.

- 1) pneumatický systém se skládá z válce určeného ke zvedání břemena o určité hmotnosti.
- 2) kompresor systému dodává stlačený vzduch, který je veden přes terminál k ovládání pohybu válce.
- 3) veškeré parametry systému je možné nastavovat přímo v PLC.
- 4) celé řízení a nastavování probíhá v PLC, které řídí celou pneumatickou ventilovou část.

Zapojení zahrnuje sběr dat z průtokového čidla a dvou tlakových čidel na válci. Tato čidla jsou připojena na IO-Link kartu Festo CPX-AP-I-4IOL-M12, která slouží jako rozhraní mezi čidly a komunikační kartou. Tato IO-Link karta je následně propojena s komunikační kartou Festo CPX-AP-I-EP-M12, která zajišťuje přenos dat do Node-RED prostřednictvím Modbus protokolu. V Node-RED jsou získaná data zpracována a převedena na relevantní hodnoty tlaku v barech a průtoku v litrech za minutu.

Použití IO-link čidel v tomto zapojení přináší několik výhod. Jednou z hlavních výhod je snadná integrace do průmyslových systémů, což je zajištěno díky standardizovanému rozhraní umožňujícímu jednoduchou komunikaci. Tato vlastnost také zajišťuje větší flexibilitu při návrhu a realizaci různých měřících a řídicích úloh, protože IO-link čidla umožňují snadné nastavení parametrů a funkčnosti čidel.

Další výhodou IO-link čidel je rozšířená diagnostika. Tyto funkce usnadňují sledování stavu čidel a detekci potenciálních problémů, což umožňuje provádět prediktivní údržbu. Použitím IO-link čidel a kompatibilních komponent lze také snížit náklady na instalaci, provoz a údržbu systému. Důvodem je skutečnost, že jednotlivé komponenty jsou navrženy tak, aby spolupracovaly efektivně a bezproblémově. Tato vlastnost přispívá k celkovému zvýšení efektivity a spolehlivosti systému.

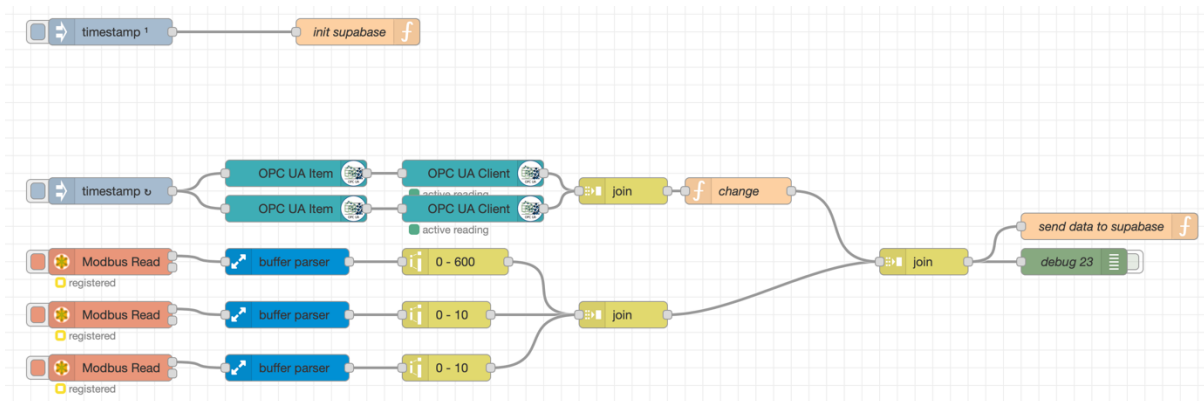
V Node-RED je celý proces zpracování dat rozdělen do několika uzlů (nodes), které spolu vzájemně komunikují a zpracovávají data z čidel.

- 1) Modbus Read: První uzel je zodpovědný za čtení dat z čidla prostřednictvím Modbus protokolu. Zde je nastavena adresa prvního čidla, která umožňuje získat potřebná data pro další zpracování.
- 2) Buffer Parser: Následující uzel, Buffer Parser, přijímá data z Modbus Read uzlu a provádí jejich převod z binárního formátu do podoby k přepočtu. Tímto krokem se zjednoduší další manipulace s daty a příprava na přepočet hodnot.
- 3) Přepočet hodnot: V tomto uzlu probíhá přepočet hodnoty z čidla na reálné hodnoty v barech. Tento krok je nezbytný, aby bylo možné správně reprezentovat data z čidla a provést další analýzu nebo uložení do databáze.
- 4) Výpis hodnot: Tento uzel slouží k zobrazení zpracovaných hodnot, aby bylo možné je kontrolovat a vizualizovat. Výpis hodnot může být zobrazen ve formě grafů, tabulek nebo jiných vizualizačních nástrojů, které Node-RED nabízí.
- 5) Poslání do databáze: Poslední uzel v procesu je zodpovědný za odeslání zpracovaných hodnot do databáze, kde jsou uloženy pro další analýzu a zpracování.

Přenos dat z PLC po OPC UA do Node-RED:

Pro efektivní práci s daty je nutné získávat informace o stavu pneumatického válce. V tomto případě se využívají magnetická čidla, která jsou umístěna na pneumatickém válci. Tyto čidla generují binární hodnoty, které informují o aktuálním stavu válce - zda je vysunutý nebo zasunutý. Tyto hodnoty jsou následně přenášeny z PLC pomocí protokolu OPC UA do Node-RED.

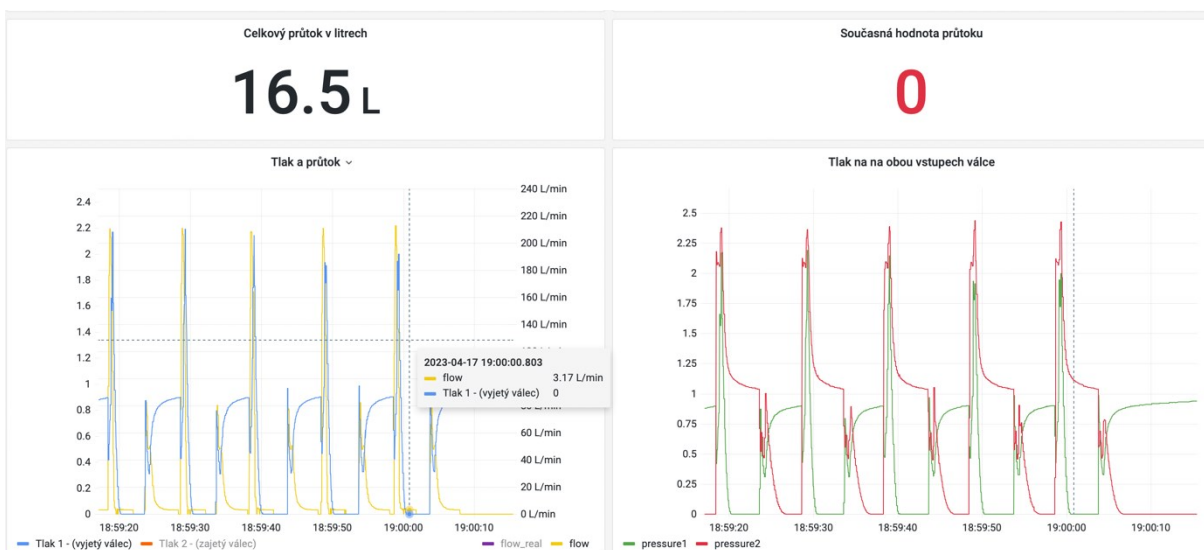
- 1) OPC UA item: (ns=4;s=|var|CPX-CEC-C1-V3.Application.GVL.V1_Vysunut) - jedná se o definici konkrétní sledované proměnné.
- 2) OPC UA client: Tento uzel slouží jako klient pro připojení k OPC UA serveru. Adresa serveru je specifikována jako `opc.tcp://192.168.1.90:4840/`.
- 3) Function node: Zpracování proměnné (ns=4;s=|var|CPX-CEC-C1-V3.Application.GVL.V1_Vysunut) na „pos_in“
- 4) Function node: Tento uzel zajišťuje odeslání zprávy obsahující informace o stavu do databáze Supabase.



Obrázek 48 : Datové toky v Node-RED

7.5 Zpracování dat

Na následujícím obrázku můžete vidět základní grafy a průběhy, které jsou vykreslovány v Grafana. Díky této platformě lze velmi efektivně monitorovat a vykreslovat data ze senzorů a zařízení. Grafy umožňují rychlé a přesné sledování průběhu měřených veličin. Vykreslování dat v Grafana umožňuje rychle reagovat na výkyvy a změny, a tím předejít případným problémům nebo chybám v procesech.

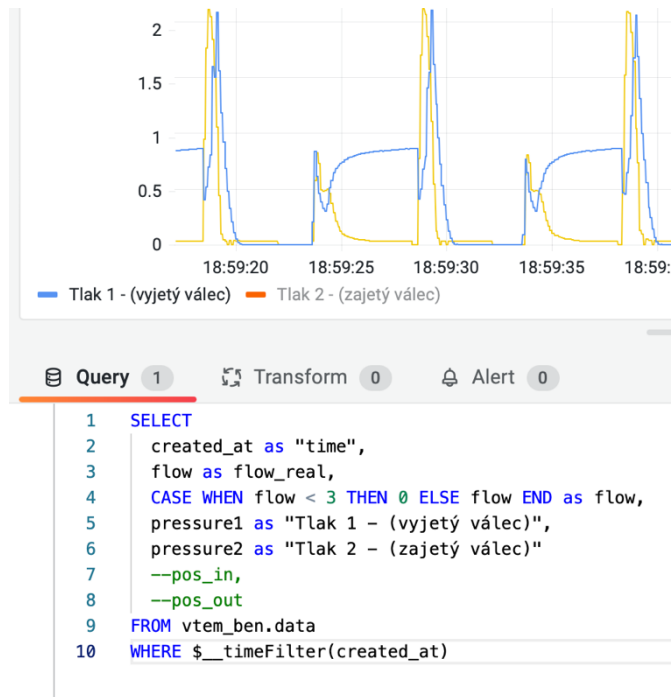


Obrázek 49 : Průběhy v Grafana

SQL příkaz níže na Obrázku 50 je dotaz do databáze s využitím jazyka SQL. Používá se pro výběr konkrétních sloupců a řádků z tabulky vtem_ben.data.

Konkrétně jsou vybrány sloupce "created_at" (časové razítko), "flow" (průtok vzduchu), "pressure1" (tlak v prvním stavu válce - vyjetí), a "pressure2" (tlak v druhém stavu válce - zajetí).

V této části kódu je také podmínka CASE, která zajišťuje, že pokud je hodnota průtoku nižší než 3, bude nahrazena nulou. Také se používá funkce \$__timeFilter, která slouží k filtrování dat podle časového úseku.



Obrázek 50 : SQL příkaz v Grafana pro vykreslení požadovaných hodnot

Níže na obrázku 51 je SQL příkaz, který slouží pro výpočet celkové spotřeby vzduchu za daný časový úsek. V první části kódu je vytvořena dočasná tabulka `time_window_summary`, ve které jsou seskupeny data z tabulky `vtem_ben.data` (obsahující naměřené údaje z čidel) pro určité časové okno. Zároveň je zde spočítána průměrná spotřeba vzduchu v daném časovém okně `avg_flow`, avšak pouze pro hodnoty větší než 3, jelikož menší hodnoty jsou výsledkem šumu měření.

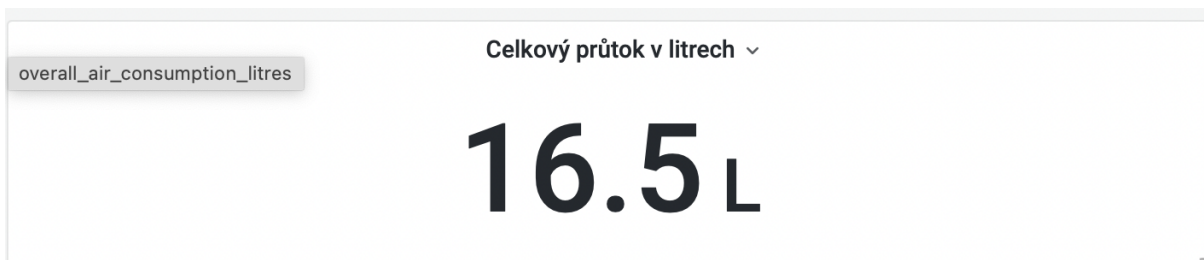
Ve druhé části kódu je z hodnot z tabulky `time_window_summary` vypočtená celková spotřeba. K tomuto účelu je využito vztahu, kde se průměrná spotřeba vzduchu `avg_flow` vynásobí rozdílem mezi `end_time` a `start_time` a výsledek se vydělí 60, čímž se získá celková spotřeba vzduchu v litrech za minutu.

```

2      SELECT
3      MIN(created_at) as start_time,
4      MAX(created_at) as end_time,
5      AVG(CASE WHEN flow < 3 THEN 0 ELSE flow END) as avg_flow
6  FROM
7      vtem_ben.data
8  WHERE
9      $__timeFilter(created_at)
10 )
11 SELECT
12 avg_flow * EXTRACT(EPOCH FROM (end_time - start_time)) / 60 as overall_air_consumption_litres
13 FROM
14 time_window_summary;

```

Obrázek 51 : SQL příkaz v Grafana pro výpočet celkového průtoku vzduchu



Obrázek 52 : Indikátor v Grafana - celkový průtok v litrech

7.6 První případ

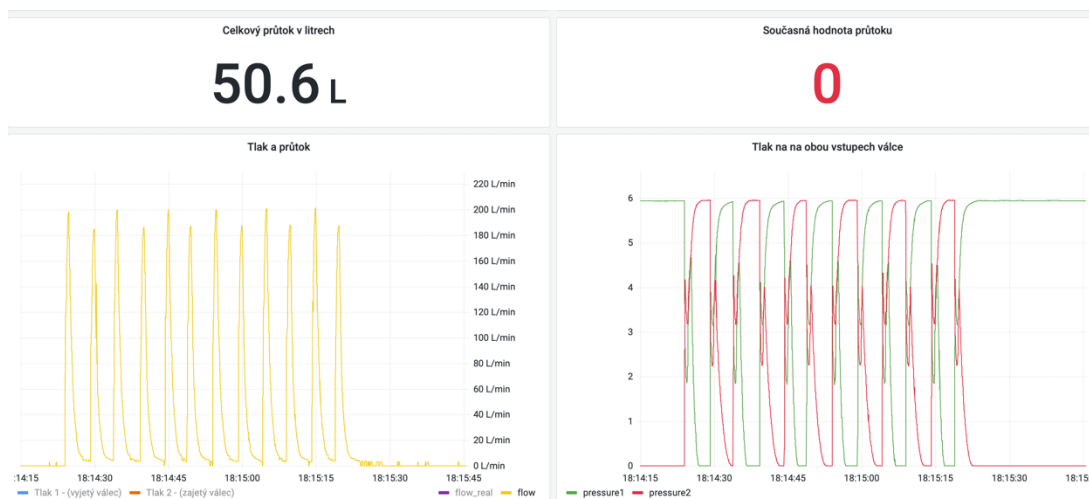
V rámci praktické práce a pro lepší porovnání bylo provedeno základní měření, které se zaměřilo na klasické zapojení, kde pro vyjetí i zjetí válce je používán konstantní tlak 6 bar. Cílem tohoto měření bylo zjistit spotřebu stlačeného vzduchu při tomto běžném nastavení, aby bylo možné srovnat s dalšími variantami zaměřenými na lepší ekonomickou účinnost. Pro toto měření byl použitý standardní válec ADN-50-300. V tomto případě došlo k ověření spotřeby stlačeného vzduchu při provozu s konstantním tlakem 6 bar, jak pro vyjetí, tak pro zjetí válce. Tato základní varianta nám poskytuje výchozí bod pro srovnání, které směřují k lepší výsledné spotřebě stlačeného vzduchu. Porovnáním výsledků tohoto měření s dalšími variantami, které zahrnují snížení tlaku při návratu do výchozí polohy a přizpůsobení tlaku podle potřeb aplikace, můžeme zjistit, jak efektivně tyto metody snižují spotřebu stlačeného vzduchu a jaký dopad mají na provozní náklady a energetickou účinnost. V každém testu jsem provedl v rámci jedné minuty 6 cyklů (cyklus = vyjetí a zjetí válce).

Tabulka 9 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku

Tlak pro vyjetí	6 bar
Tlak pro zjetí	6 bar
Celkový průtok v litrech za 6 cyklů	50,6 litrů

Tabulka 10 : Jednotlivé časy cyklů s průměrným výpočtem

Čas vyjetí	Čas zjetí
1206 ms	935 ms
1099 ms	802 ms
1208 ms	808 ms
1208 ms	893 ms
1110 ms	904 ms
1119 ms	803 ms
1158 ms	858 ms



Obrázek 53 : Průběhy pro první případ

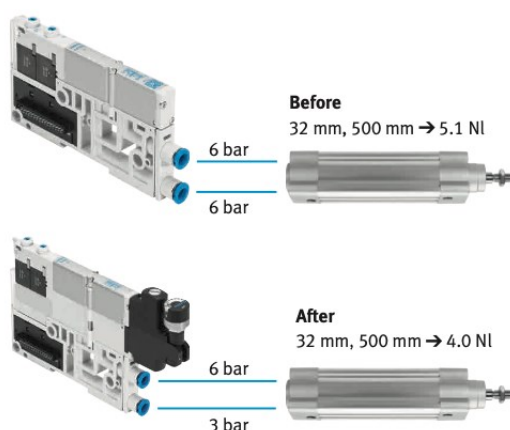
7.7 Druhý případ

V druhém měření bylo provedeno pro konkrétní příklad, který ukazuje účinnost snížení tlaku při návratu pístní tyče do výchozí pozice. Tento přístup umožňuje snížit spotřebu stlačeného vzduchu o více než 20%.

Festo uvádí, že úroveň tlaku lze snadno přizpůsobit skutečným potřebám aplikace. Byly provedeny měření a testy s cílem zjistit, zda se skutečné hodnoty shodují s těmi, které uvádí Festo.

V experimentu byl použit opět standardní válec ADN-50-300. Festo uvádí spotřebu vzduchu válce o průměru 32 mm a zdvihu 500 mm při 6 bar na cca 5,1 NI a při provozu se sníženým tlakem při zasouvání pístní tyče 4,0 NI.

Výsledné měření a testy vykazaly velmi podobné výsledky, což potvrzuje údaje a informace poskytnuté Festo. Tímto způsobem se podařilo dosáhnout významné úspory ve spotřebě stlačeného vzduchu, což by mohlo mít pozitivní dopad na energetickou účinnost a provozní náklady. Výsledky ukazují, že snížení tlaku při zpětném zdvihu a přizpůsobení tlaku podle potřeb aplikace je skutečně efektivní, praktický přístup ke zlepšení energetické účinnosti a také velmi jednoduchý.



Obrázek 54 : Použití sníženého tlaku při návratu do výchozí pozice[5]

Tabulka 11 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku / úspora

Tlak pro vyjetí	6 bar
Tlak pro zajetí	3 bar
Celkový průtok v litrech (snížený tlak)	40,3 litrů
Celkový průtok v litrech (6 bar -> 6 bar)	50,6 litrů
Úspora	10,3 litrů

Celková úspora je 10,3 litrů. Pro výpočet úspory v procentech se použije následující výpočet:

$$\text{Úspora}[\%] = (\text{úspora} / \text{celkový průtok}) * 100$$

$$\text{Úspora} = (10,3 / 50,6) * 100 = 20,35\%$$

Úspora je tedy 20,35%.

Tabulka 12 : Jednotlivé časy cyklů s průměrným výpočtem

Čas vyjetí	Čas zajetí
708 ms	1104 ms
709 ms	1100 ms
613 ms	1085 ms
614 ms	1119 ms
708 ms	1112 ms
731 ms	1006 ms
681 ms	1088 ms

7.7.1 Ověření druhého případu s jiným typem válce

V rámci druhého měření bylo provedeno navíc měření s jiným typem pneumatického válce. Hodnoty nastavení byly totožné – tlak pro vyjetí je 6 bar a tlak pro zajetí je 3 bar. Jedná se o pneumatický válec typu DLP-80-53-A.



Obrázek 55 : Výsledek s jiným typem válce pro konstantní tlak 6 bar

Tabulka 13 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku / úspora pro jiný typ válce

Tlak pro vyjetí	6 bar
Tlak pro zjetí	3 bar
Celkový průtok v litrech (snížený tlak) pro 2 cykly	8,21 litrů
Celkový průtok v litrech (6 bar -> 6 bar) pro 2 cykly	10,5 litrů
Úspora	2,29 litrů

Celková úspora je 2,29 litrů. Pro výpočet úspory v procentech se použije následující výpočet:

$$\text{Úspora}[\%] = (\text{úspora} / \text{celkový průtok}) * 100$$

$$\text{Úspora} = (2,29 / 10,5) * 100 = 21,80\%$$

Úspora je tedy 21,80%.



Obrázek 56 : Výsledek s jiným typem válce se sníženým tlakem

7.8 Třetí případ

Poslední zapojení bylo provedeno s využitím Festo VTEM terminálu, který umožňuje sofistikované řízení tlaku a průtoku prostřednictvím algoritmu vytvořeného v PLC tohoto terminálu. Díky tomuto algoritmu je možné efektivně pracovat s tlakem a průtokem, což vede k optimalizaci spotřeby stlačeného vzduchu a zvýšení celkové efektivity systému. Festo VTEM terminál disponuje pokročilými technologiemi a inteligentními funkcemi. Vytvořený algoritmus pro řízení spotřeby stlačeného vzduchu v PLC terminálu umožňuje dynamicky upravovat tlak a průtok v závislosti na aktuálních potřebách.

V důsledku toho je systém schopen pracovat s vyšší energetickou účinností a menší spotřebou stlačeného vzduchu, což vede ke snížení provozních nákladů a zvýšení efektivity celé operace.

V posledním měření s Festo VTEM je zaznamenána výrazná úspora na stlačeném vzduchu, až 60%. Tento výsledek ukazuje, jak efektivní může být použití Festo VTEM v kombinaci s optimalizací řízení tlaku a průtoku.

Tabulka 14 : Hodnoty nastavení a výsledek celkového průtoku

Tlak pro vyjetí	6 bar -> 1 bar
Tlak pro zajetí	3 bar -> 1 bar
Celkový průtok v litrech	19,9 litrů

Celková úspora oproti prvnímu měření je 30,7 litrů. Pro výpočet úspory v procentech se použije následující výpočet:

$$\text{Úspora[\%]} = (\text{úspora} / \text{celkový průtok}) * 100$$

$$\text{Úspora} = (30,7 / 50,6) * 100 = 60,6\%$$

Úspora je tedy 60,6%.

Tabulka 15 : Jednotlivé časy cyklů s průměrným výpočtem

Čas vyjetí	Čas zajetí
811 ms	809 ms
702 ms	793 ms
604 ms	779 ms
615 ms	780 ms
601 ms	713 ms
617 ms	601 ms
658 ms	746 ms



Obrázek 57 : Průběhy pro třetí případ

7.9 Porovnání jednotlivých případů

Tabulka 16 : Porovnání jednotlivých případů

	První případ	Druhý případ	Třetí případ
Celková spotřeba	50,6 l	40,3 l	19,9 l
Průměrný čas pro vyjetí	1158 ms	681 ms	658 ms
Průměrný čas pro zajetí	858 ms	1088 ms	746 ms
Průměrný čas cyklu	1008 ms	884 ms	702 ms

Z poskytnuté tabulky můžeme snadno vyčíst úsporu na stlačeném vzduchu. Kromě toho se podařilo dosáhnout i lepších časů cyklů - druhé měření dosahuje o 12,3 % rychlejších cyklů než u druhého měření a u třetího měření až o 30,3 % rychlejších cyklů.

Práce s optimálním tlakem a průtokem: například, pokud pracujeme s nízkým tlakem a vysokým průtokem, může to vést ke zpomalení cyklů. Na druhé straně, pokud pracujeme s vysokým tlakem a nízkým průtokem, může to vést k nadměrnému opotřebení prvků a zvýšené spotřebě energie. Proto je důležitá optimální kombinace tlaku a průtoku pro danou aplikaci, aby bylo dosaženo nejlepšího výkonu a úspory času.

8 Závěr

Úkolem diplomové práce bylo zaměření na zvýšení energetické účinnosti digitální pneumatiky s využitím prvků pracujících na principech průmyslu 4.0. Hlavním cílem bylo dosáhnout co největší úspory a celkové snížení nákladů na energii celého systému. K tomuto účelu byly provedeny tři měření s různými nastaveními tlaků pro vyjetí a zjetí pneumatického válce.

V prvním případě byl pro vysouvání a zasouvání pneumatického válce nastaven konstantní tlak o hodnotě 6 bar. Tento obvod však neefektivně pracoval se stlačeným vzduchem, což vedlo ke značnému plýtvání energií. Celková spotřeba vzduchu byla 50,6 litrů a průměrný čas cyklu dosáhl hodnoty 1008 ms.

Ve druhém případě byla hodnota tlaku pro vyjetí 6 bar pro zjetí válce byl nastaven redukovaný tlak o hodnotě 3 bar. Toto zapojení vedlo ke snížení celkové spotřeby vzduchu na 40,3 litrů a průměrný čas cyklu se zkrátil na 884 ms. Ve druhém případě bylo zjištěno, že tento způsob nastavení a řízení umožňuje snížit spotřebu stlačeného vzduchu o více než 20%, jak uvádí Festo. V tomto případě byly použity dva rozdílné válce, u kterých vyšly velmi podobné hodnoty úspor.

V posledním případě byl dynamicky řízený tlak a průtok v pneumatickém obvodu dle vytvořeného algoritmu. Toto řešení přispělo k nejnižší celkové spotřebě vzduchu, pouze 19,9 litrů, a průměrný čas cyklu se zkrátil na 702 ms. Celkově lze tedy říci, že práce s tlakem/průtokem pro vyjetí/zjetí válce může výrazně snížit spotřebu stlačeného vzduchu a tím pádem náklady na provoz.

Tato diplomová práce ukazuje, že využití prvků Průmyslu 4.0 a nových technologií jako je Festo Motion Terminal mohou přinést značné úspory stlačeného vzduchu v technologiích a mohou být využity v průmyslové praxi pro snížení nákladů.

Z výsledků získaných v rámci této práce lze konstatovat, že cílů bylo úspěšně dosaženo. Bylo provedeno měření spotřeby stlačeného vzduchu na různých typech obvodů a bylo navrženo řešení pro optimalizaci spotřeby vzduchu pomocí VTEM terminálu. Díky tomu bylo dosaženo nejen úspory na spotřebě vzduchu, ale také lepších časů cyklů.

Použitím Motion ventilového terminálu byla dosažena nižší spotřeba stlačeného vzduchu.

Výsledky této práce přinášejí nové poznatky pro průmyslovou automatizaci a energetickou účinnost a ukazují výhody využití moderních technologií jako je Festo Motion Terminal a principů Průmyslu 4.0 v oblasti pneumatiky. Díky těmto technologiím je možné dosáhnout vysoké energetické účinnosti a snížit náklady na provoz v průmyslových aplikacích.

V závěru lze konstatovat, že stanovené cíle práce se podařily naplnit a výsledky mohou být využity v praxi pro optimalizaci spotřeby stlačeného vzduchu.

Použitá literatura

- [1] *Výhody stlačeného vzduchu* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: 1) <https://www.kompresory-boge.cz/prodej-cena/vyroba-stlaceny-vzduch-tlakovy-kompresor/oblasti-pouziti-stlaceneho-vzduchu/vyhody-stlaceneho-vzduchu-pneumaticka-zarizeni>
- [2] EBEL, Frank, Georg PREDE, Dieter SCHOLZ a Siegfried IDLER. *Pneumatika, Elektropneumatika, Základy*. Denkendorf, Germany: Festo Didactic GmbH & Co., 2009.
- [3] *What is Compressed Air?* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.atlascopco.com/cs-cz/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-compressed-air>
- [4] *Kombinace jednotek pro úpravu stlačeného vzduchu* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/8025359/?q=~:sortByFacetValues-asc>
- [5] *Energy efficiency@Festo* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/en-us_us/SupportPortal/Files/730343/90800_EEF_V02_en_M.pdf
- [6] *White paper: Reduce energy costs in compressed air systems by up to 60%* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/en-us_us/SupportPortal/Files/300860/WhitePaper_EnergySavingServices_EN.pdf
- [7] *What is a Pneumatic System?* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://library.automationdirect.com/pneumatic-system/>
- [8] *The Advantages of Pneumatic Systems* [online]. In: . 31.5.2018 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.bps-uk.co.uk/2018/05/31/the-advantages-of-pneumatic-systems/>
- [9] *FluidSIM 6* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.art-systems.de/www/site/de/index.html>
- [10] *Motion Terminal VTEM* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/267/D15000100153267.PDF>
- [11] *Festo Motion Terminal* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/vtem/cs/cms/motion-terminal.htm>
- [12] *PRŮMYSL 4.0* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.leanindustry.cz/prumysl-4-0/>
- [13] *How Industry 4.0 technologies are changing manufacturing* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>
- [14] *CODESYS - THE COMPREHENSIVE SOFTWARE SUITE FOR AUTOMATION TECHNOLOG* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.codesys.com/the-system.html>
- [15] *CODESYS* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.codesys.com>

- [16] ING. URBAN, Luboš. *Programování PLC podle normy IEC EN 61131-3 – víc než jednotné jazyky* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/programovani-plc-podle-normy-iec-en-61131-3-vic-nez-jednotne-jazyky-2005_02_30310_1237/
- [17] *INTERNATIONAL STANDARD IEC 61131-3* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_31/ourdev_569653.pdf
- [18] *What are IEC 61131-3 and PLCopen?* [online]. In: . 23.2.2018 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/iec-61131-3-plcopen/>
- [19] *Node-RED* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://nodered.org/about/>
- [20] *Co je to Node-RED a ukázka práce* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.hardwario.com/cs/tower/navody/co-je-node-red/>
- [21] *Node-red-contrib-saprfc* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-saprfc>
- [22] *Node-red-contrib-modbus* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-modbus>
- [23] *Node-red-contrib-opcua* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-opcua>
- [24] *Dashboard anything. Observe everything.* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://grafana.com/grafana/>
- [25] *What is Grafana? Why Use It? Everything You Should Know About It* [online]. In: . [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://scaleyourapp.com/what-is-grafana-why-use-it-everything-you-should-know-about-it/>
- [26] *Motion Terminal VTEM* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://5.imimg.com/data5/BS/OQ/WT/SELLER-11235002/festo-24-v-dc-vtem-motion-terminal.pdf>
- [27] *Piezo valves VEMP* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/media/pim/623/D15000100140623.PDF>
- [28] *Snadná integrace piezoventilů, manipulace s plyny: Vyměňte proporcionální elektromagnetické ventily a ušetřete až 95 % energie*[online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/e/journal/snadna-integrace-piezoventilu-pro-efektivni-manipulaci-s-plyny-id_1621987/
- [29] *Festo technology simplifies piezo valve integration and dramatically reduces energy consumption* [online]. 2022 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://press.festo.com/nl/node/4033>
- [30] *FESTO MOTION TERMINAL VTEM. Digitised pneumatics* [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/Files/730478/118488_Festo_VTEM-MotionTerminal_PSIplus_EN135847_202106_V01.pdf

- [31] MOTION APPS – YOUR ROUTE TO GREATER PRODUCTIVITY. [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/vtem/nl/cms/motion-apps.htm>
- [32] APP WORLD. [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/app/apps/apps-for-products/festo-motion-terminal.html>
- [33] DIGITALIZOVANÁ PNEUMATIKA. [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/motion-terminal-id_VTEM/?page=0
- [34] ROZHRANÍ ETHERNET/IP. CPX-AP-I-EP-M12 [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/8086610/?q=cpx-ap-i~:sortByCoreRangeAndSp2020>
- [35] MASTER IO-LINK. CPX-AP-I-4IOL-M12 [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/8086604/?q=cpx-ap-i~:sortByCoreRangeAndSp2020>
- [36] Čidlo tlaku: SPAU-P10R-W-G18FD-L-PNLK-PNVBA-M12U [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/8001230/?q=SPAU-P10R-W-G18FD-L-PNLK-PNVBA-M12U~:festoSortOrderScored>
- [37] Čidlo průtoku: SFAB-600U-HQ10-PNLK-PNVBA-M12 [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/8162832/?q=SFAB-600U-HQ10-PNLK-PNVBA-M12~:festoSortOrderScored>
- [38] Kompaktní válec: ADN-50 [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/536309/?q=536309~:festoSortOrderScored&identCode1=ADN-50-300-A-P-A>
- [39] Přibližovací čidlo: SME-8M [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/543892/?q=543892~:festoSortOrderScored&identCode1=SME-8M-DS-24V-K-1-M8D>
- [40] Function blocks CODESYS: Parameterisation and control Motion Terminal VTEM [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.festo.com/fox/net/SupportPortal/DefaultWindow.aspx?q=8047502&tab=4&company=cz&culture=cs>
- [41] Quick Reference: PLC programming [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/684271/VTEM_PLC_QuickReference
- [42] CODESYS Store International [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://store.codesys.com/de/>