



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Technická
fakulta**

Pneumatické prvky pro automatizaci

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. René Neděla

Autor: Michal Hrádek

PRAHA 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hrádek Michal

Technologická zařízení staveb

Název práce

Pneumatické prvky pro automatizaci

Anglický název

Pneumatic elements for automatization

Cíle práce

Cílem práce je rozebrání problematiky tekutinových prvků. Seznámit se s problematikou pneumatických prvků a jejich řízení. Sestavení modelu.

Metodika

Provést rešerši na téma tekutinové prvky. Seznámit se s problematikou zpracování vzduchu. Využitelnost pneumatických prvků dnes. Realizace logických schémat pomocí tekutinových prvků a sestavení modelu.

Osnova práce

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Rešerše na téma tekutinové prvky
4. Kombinační logika
5. Realizace kombinační logiky pomocí tekutinových prvků
6. Využití pneumatických prvků v dnešní době.
7. Sestavení modelu pomocí pneumatických prvků
8. Závěr
9. Doporučená literatura
10. Přílohy

Rozsah textové části

35 str.

Klíčová slova

Pneumatické prvky, tekutinové prvky, motory, rozvaděče, zpracování vzduchu, festo, kombinační logika, fluid-

Doporučené zdroje informací

PIVOŇKA, J.: Tekutinové mechanismy,

KOPÁČEK, J.: Pneumatické mechanismy,

PEŇÁZ, V.: Tekutinové mechanismy,

PACIGA, A.: Tekutinové mechanismy,

Jaroslav Talácko: Vývoj pneumatických prvků a mechanismů

Úvod do pneumatiky učebnice FESTO Didactic Praha : ČVUT, 1989.

Beneš Pavel: Pneumatické ovládání, ČVUT, 1998

Vedoucí práce

Neděla René, Ing.

Termín zadání

listopad 2010

Termín odevzdání

duben 2012


prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry




prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 4.2.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Pneumatické prvky pro automatizaci“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne 29. března 2012

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Renému Nedělovi za odborné vedení, užitečné rady a cenné připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Také děkuji své rodině za podporu a zajištění klidného prostředí.

Abstrakt

Tato práce je věnována problematice pneumatických prvků pro automatizaci. V první části jsou obecně charakterizovány pneumatické systémy a jejich klíčové prvky. Je zde popsán i způsob zpracování vzduchu. Prostřední část se věnuje řízení pneumatických systémů – včetně popisu struktury některých řídicích prvků. Dále se věnuje využití pneumatických prvků v současnosti. Poslední část je zaměřena na vlastní návrh modelu, který zároveň slouží jako ukázka praktické aplikace pneumatických prvků.

Klíčová slova

pneumatické prvky, tekutinové prvky, motory, ventily, zpracování vzduchu, logické řízení

Pneumatic elements for automation

Summary

This work is devoted to problems of pneumatic elements for automation. Pneumatic systems and their key elements are generally characterized in the first part. There is also described a method of processing air. The middle part is dedicated to control of pneumatic systems – including a description structure of some control elements. It also discusses utilization of pneumatic components in the present. Last part is focused on the design model, which also serves as an example of practical application pneumatic elements.

Key words

pneumatic elements, fluid elements, engines, valves, processing air, logic control

Obsah

1 Úvod	- 1 -
2 Cíl práce a metodika.....	- 2 -
3 Pneumatické systémy a jejich prvky.....	- 2 -
3.1 Výhody a nevýhody pneumatických zařízení	- 4 -
3.2 Výroba a rozvod stlačeného vzduchu.....	- 6 -
3.2.1 Výroba a akumulace.....	- 7 -
3.2.2 Úprava vzduchu	- 8 -
3.2.3 Rozvod stlačeného vzduchu.....	- 9 -
3.3 Pneumatické motory.....	- 10 -
3.3.1 Pneumatické motory pro přímočarý pohyb	- 11 -
3.3.2 Pneumatické motory pro rotační a kyvný pohyb.....	- 12 -
3.4 Ventily.....	- 14 -
3.4.1 Rozváděcí ventily.....	- 14 -
3.4.2 Ventily jednosměrné, škrticí a tlakové	- 16 -
4 Logické řízení pneumatických systémů	- 17 -
4.1 Logické obvody.....	- 18 -
4.2 Pneumatická schémata a zobrazování průběhu pohybů	- 19 -
5 Realizace logických funkcí pomocí pneumatických prvků.....	- 20 -
5.1 Třícestné rozváděcí ventily	- 21 -
5.2 Čtyřcestné a vícecestné rozváděcí ventily	- 25 -
5.3 Ventilová hradla a zpoždovací ventily.....	- 27 -
6 Využití pneumatických prvků v dnešní době	- 30 -
7 Sestavení modelu pomocí pneumatických prvků.....	- 33 -
8 Závěr	- 39 -
9 Seznam použité literatury	- 40 -
10 Seznam obrázků.....	- 41 -
11 Přílohy	

1 Úvod

Již po několik desetiletí, především jako důsledek automatizace technologických procesů, dochází ke globálnímu průmyslovému uplatnění pneumatických systémů. Tendence automatizovat výrobní linky nikterak neustává ani v dnešní době, což předznamenává, že pneumatika bude mít široké a pestré využití i nadále. Nicméně žijeme v éře prudkého technologického vývoje a některé dříve hojně využívané funkce pneumatických systémů mohou být v současnosti výhodně realizovány i jiným způsobem.

Pneumatické systémy jsou tvořeny vhodnou kombinací pneumatických prvků. Díky normalizaci, typizaci a zároveň nesmírně bohatému sortimentu těchto prvků lze stavebnicovým způsobem sestavit systémy s nejrůznější strukturou. Technická úroveň moderních pneumatických prvků je silně ovlivněna možnostmi nynějších technologií a zároveň i požadavky plynoucími z charakteru funkcí v konstrukcích strojů. Zatímco dříve se pneumatické systémy skládaly z velkého podílu řídicích prvků realizujících nejrůznější logické funkce, dnes je trendem přenášet co největší podíl řídicí činnosti do sféry elektroniky – zejména využíváním programovatelných automatů (PLC). Proto je třeba mluvit spíše o systémech elektropneumatických. Zmíněné skutečnosti vedou k tomu, že se dnes do pneumatických prvků integruje stále více elektroniky.

Toto téma jsem si vybral především ze zájmu o danou problematiku. Věřím, že zpracováním bakalářské práce získám poznatky, které pomohou prohloubit moje znalosti v oblasti automatizace a tekutinových prvků a současně si tím zajistit možnost se této problematice věnovat i v budoucnosti.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je podat ucelený přehled o problematice pneumatických prvků, na jehož základě potom sestavit i vlastní model pneumatického systému. Čtenář získá obecnou představu o struktuře a využití pneumatických systémů – včetně jejich řízení. Zároveň se seznámí i se způsobem zpracování vzduchu.

Metodikou je studium technické dokumentace a literatury pojednávající o problematice tekutinových prvků a také konzultace se zástupci předních světových firem. Téma „Pneumatické prvky pro automatizaci“ je velice široké, proto není možné v rozsahu této práce detailně popsat veškerou problematiku. Práce je tedy koncipována tak, že se zaměřuje jen na klíčové skupiny pneumatických prvků, jejichž konstrukci a využití potom popisuje.

3 Pneumatické systémy a jejich prvky

Pneumatické systémy se spolu s hydraulickými označují společným názvem tekutinové. Pokud jde o technologii výroby prvků a jejich uspořádání, oba druhy vykazují značnou příbuznost. Obecně lze strukturu tekutinových systémů rozčlenit do tří bloků (vstupní, rozváděcí a výstupní). Vstupní blok se skládá z prvků zabezpečujících přívod pracovního média s požadovanými parametry. Rozváděcí blok je obvykle tvořen kombinací řídicích prvků (ventilů), jejichž funkcí je řízení činnosti prvků pracovních – hlavně pneumatických a hydraulických motorů. Výstupní blok představují právě pracovní prvky. Rozdíl mezi oběma druhy tekutinových systémů spočívá v tom, že mají nositele energie a informace o různém skupenství. U pneumatických je to nejčastěji stlačený vzduch, u hydraulických potom minerální olej. Odtud plyne i rozdílnost ve využívaných hodnotách parametrů – především tlaku. Běžné pneumatické systémy pracují s tlakem maximálně 1,5 MPa, v praxi se však obvykle využívá hodnota 0,6 MPa.

Tím je do jisté míry omezena použitelnost – hlavně z hlediska silových požadavků. Naproti tomu hydraulické systémy pracují s velikostí tlaku kolem 35 MPa, z čehož plyne i schopnost vyvozovat mnohem větší síly a krouticí momenty. [3][6][9]

Počáteční období využívání hydraulických prvků je spojeno především s konstrukcemi hydraulických lisů. Pneumatické prvky mají historii poněkud kratší. Jejich významnější rozvoj, vyvolaný hlavně explozivním zájmem o automatizaci činnosti výrobních zařízení, začal v 60. letech 20. století. Tehdy v mnoha aplikacích disponovaly, s ohledem na stavbu logických řídicích systémů, příznivějšími vlastnostmi než klasické kontaktní elektrické prvky. Dokonce mohly soupeřit i s probouzející se elektronikou. Konstrukce automatizačních prostředků a realizace pomocných ovládacích funkcí jsou doposud hlavními oblastmi pro aplikaci pneumatických prvků. Typickou vlastností moderních prvků je jejich efektivní spolupráce s elektronikou. [9]

Stlačený vzduch je nositelem tří základních forem energie, a to potencionální, tlakové a kinetické. Tepelná energie stlačeného vzduchu se v pneumatických systémech nevyužívá a ve výpočtech se jako nežádoucí zanedbává. Pro proudící stlačený vzduch tedy platí Bernoulliho rovnice

$$g \cdot h + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 = konst. \quad [J \cdot kg^{-1}]$$

kde g – tíhové zrychlení $[m \cdot s^{-2}]$

h – výška nad zvolenou úrovní $[m]$

p – tlak stlačeného vzduchu $[Pa]$

ρ – hustota stlačeného vzduchu $[kg \cdot m^{-3}]$

v – střední rychlost proudu vzduchu $[m \cdot s^{-1}]$

První člen na levé straně rovnice představuje měrnou potencionální energii, druhý člen představuje měrnou tlakovou energii, třetí člen měrnou kinetickou energii.

Z hlediska možností praktického využití je potencionální energie zanedbatelně malá, proto zbývají energie tlaková a kinetická. Prvky využívající tlakovou energii se nazývají pneumostatické, a v praxi mají drtivou převahu nad prvky pneumodynamickými, které využívají kinetickou energii stlačeného vzduchu. Značné rozšíření pneumostatických prvků vedlo k tomu, že jsou obecně nazývané pneumatickými. [3]

3.1 Výhody a nevýhody pneumatických zařízení

Bouřlivý rozvoj v minulosti a široké uplatnění v současnosti svědčí o tom, že mnohé problémy při konstrukci moderních strojů a zařízení lze řešit jednodušeji a hospodárněji právě s využitím pneumatiky. Nejdůležitější výhody v konstrukční a provozní oblasti jsou:

- ▶ dostupnost – Vzduch je k dispozici v neomezeném množství prakticky všude na povrchu Země.
- ▶ distribuce – K rozvodu stlačeného vzduchu postačí jediný vodič, protože po předání energie pracovnímu prvku je vzduch vyfukován do ovzduší. Stlačený vzduch lze dopravovat i na větší vzdálenosti. Oproti tomu rozvod hydraulické energie potřebuje více vodičů. Délka hydraulických rozvodů je omezena setrvačnými silami sloupců tekutiny, které jsou příčinou vzniku hydraulických rázů. Rozvod elektrické energie je náročný na orientaci zapojení, na kvalitu izolace a na dodržení bezpečnostních předpisů, výhodou je prakticky neomezený dosah přenosu elektrického signálu.
- ▶ akumulace – Kompresor nemusí pracovat nepřetržitě, protože stlačený vzduch lze akumulovat v tlakové nádobě (vzdušníku). Navíc je možné ho v tlakových nádobách (lahvích) i přepravovat.
- ▶ teplotní změna parametrů – I značné kolísání teplot nemá podstatný vliv na změnu vlastností stlačeného vzduchu. Ovšem je nutné respektovat změnu tlaku vzduchu ve smyslu stavové rovnice plynů.

- elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Elektromagnetické pole nemá vliv na přenos pneumatického signálu.
- čistota – Únik stlačeného vzduchu v případě poruchy zařízení nezpůsobí rozsáhlé znečištění. Eventuální porucha hydraulického rozvodu může naopak snadno zašpinit okolí, znehodnotit výrobky a případně i zničit zařízení.
- bezpečnost proti požáru a výbuchu – Použití stlačeného vzduchu nesnižuje bezpečnost provozu ani ve výbušném a zápalném prostředí, proto nejsou nutná nákladná ochranná opatření. Naproti tomu mnoho hydraulických provozních kapalin může být v takovém prostředí nebezpečných. Rozvody elektrické energie a elektromotory zase vyžadují drahé speciální provedení.
- jednoduchost – Díky jednoduché struktuře je montáž a údržba pneumatických systémů snadná, takže nevyžaduje zvláštní kvalifikaci.
- přetížitelnost – Přetížení pneumatických i hydraulických motorů až k úplnému zastavení je možné bez poškození – narozdíl od motorů elektrických.
- rychlost a otáčky – Stlačený vzduch je velmi rychlé pracovní médium, které umožňuje pneumatickým motorům dosahovat až několikanásobně vyšších rychlostí a otáček než běžné hydraulické či elektrické motory.
- záběrové síly a momenty – Většina pneumatických motorů dokáže v klidovém stavu vyvinout největší točivý moment či sílu.

Pro přesnější vymezení oblasti použití pneumatických systémů je důležité zmínit i jejich nevýhody:

- úprava – Stlačený vzduch musí být pro spolehlivou činnost pneumatického systému patřičně upraven.
- regulace polohy – Vzduch, díky své stlačitelnosti, způsobuje malou tuhost mechanismu a obtížné nastavování přesné polohy – zvláště při proměnlivém zatížení.

- dosažitelné síly a točivé momenty – Relativně nízký pracovní tlak stlačeného vzduchu (max. 1,5 MPa) vyžaduje pro dosažení větších sil a točivých momentů rozměrných pneumatických motorů.
- hlučnost – Expandováním vzduchu na výstupu z pneumatického prvku, zejména při velkých průtocích, vzniká nepříjemný hluk. Tento problém se řeší buď použitím tlumiče hluku vestaveným do odfuků každého prvku, nebo vyvedením odfuků mimo pracovní prostor obsluhy.
- náklady – Při výrobě stlačeného vzduchu se výrazná část přivedené energie spotřebuje na nežádoucí zvýšení teploty. Důsledkem toho je výroba stlačeného vzduchu energeticky náročná. V kombinaci s nedokonalým rozvodem nebo neúplnou expanzí v pracovních prvcích mohou vznikat znatelné ekonomické ztráty.
- rozměry – Především z pohledu řízení jsou pneumatické prvky rozměrově mnohem větší než elektrické součástky, které navíc umožňují vysoký stupeň integrace.
- zamrzání – Expanze stlačeného vzduchu vyvolává prudké snížení jeho teploty, která je sice okamžitě vyrovnána s okolím, ovšem při vysoké vlhkosti a nízké okolní teplotě může docházet k zamrzání výfukových kanálů pneumatických zařízení.

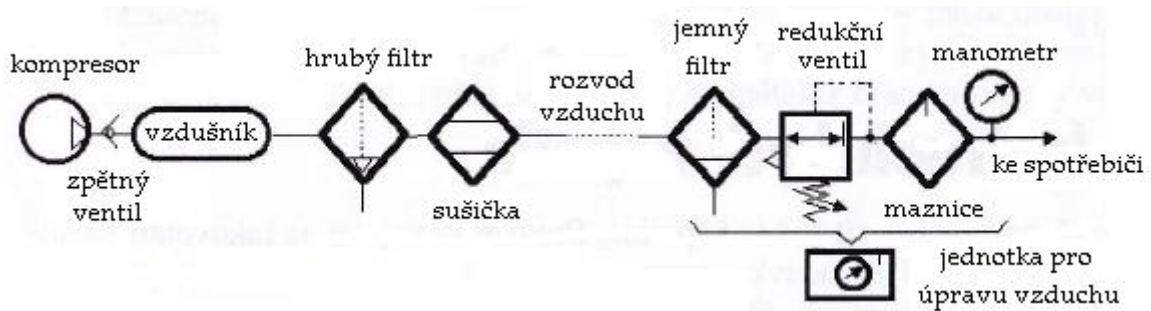
Uvedené nevýhody se často, s ohledem na provozní podmínky, eliminují kombinací s jiným typem systému. [3][8]

3.2 Výroba a rozvod stlačeného vzduchu

Suchý vzduch je směs plynů, jejíž objem tvoří převážně dvouatomové molekuly dusíku (78,09 %) a kyslíku (20,95 %). Zbytek představuje hlavně argon a oxid uhličitý. Vzduch obvykle obsahuje i určitý podíl vody (především ve formě páry). V termomechanice je taková směs označována jako vlhký vzduch. Na obr. 1

jsou schématicky znázorněna zařízení zajišťující výrobu, akumulaci, úpravu a rozvod stlačeného vzduchu.

Obr. 1 Výroba a distribuce stlačeného vzduchu [2]



3.2.1 Výroba a akumulace

Pro stlačování vzduchu se používají kompresory. Podle požadavků na výkonnost a provozní tlak lze volit mezi kompresory pracujícími na objemovém nebo rychlostním principu.

Objemové kompresory nasávají atmosférický vzduch do prostoru, který je pak uzavřen a zmenšován, čímž se dosáhne zvýšení tlaku vzduchu. Jsou vhodné především pro malé až střední výkonnosti a vyšší provozní tlaky. Objemové kompresory lze rozdělit na pístové a rotační (křídlové, šroubové, Rootsovy). Pístové kompresory mají největší tlakový poměr, ale jejich nevýhodou je kolísání tlaku, proto je nutné používat větší vzdušník. Další nevýhodou je skutečnost, že se do stlačeného vzduchu dostávají částičky oleje. Tomu lze zabránit použitím speciální konstrukce, kde je píst od pracovního prostoru oddělen membránou. Oproti tomu rotační kompresory mají menší vnější rozměry, klidný chod a poskytují rovnoměrnou a bezrázovou dodávku stlačeného vzduchu. Jejich utěsnění je však relativně složité. [1]

Rychlostní kompresory (turbokompresory) udělují nasávanému vzduchu vysokou rychlost (stlačení jen částečně), získaná kinetická energie se pak v pevném difuzoru mění na energii tlakovou. Jsou určeny pro nejvyšší

výkonnosti, avšak vyznačují se nižším tlakovým poměrem než kompresory objemové. Pro dosažení vyšších provozních tlaků je třeba použít vícestupňové provedení. [1]

Bezprostředně za kompresor se do výtlačného potrubí zařazuje vzdušník. Jeho hlavní funkcí je akumulovat stlačený vzduch, a tím snížit kolísání tlaku způsobené proměnnou spotřebou nebo již při výrobě – pístové kompresory. Při stlačování vzduchu se vyvíjí teplo, které kompresor nedokáže odvést zcela. Důsledkem toho se do vzdušníku dostává vzduch o vyšší teplotě, než měl ten nasávaný. Velký povrch pláště vzdušníku umožňuje sdílení tepla s okolím, čímž se vzduch částečně ochlazuje. Dochází při tom k vylučování vysrážené vlhkosti s olejem, proto musí být vzdušník vybaven vypouštěcím ventilem k odstraňování vzniklého kondenzátu. [5][1]

3.2.2 Úprava vzduchu

První stupeň úpravy probíhá ještě před distribucí stlačeného vzduchu rozvodnou sítí. Vzduch je třeba, pomocí filtrů, zbavit nasátých nečistot a oleje z mazání kompresoru. Při změnách teploty může v potrubí kondenzovat vlhkost podporující korozi, tím se výrazně snižuje životnost některých zařízení připojených k rozvodné síti. Z tohoto důvodu se do sítě zařazují sušičky využívající buď schopnosti látek pohlcovat vzdušnou vlhkost (absorpce, adsorpce) nebo chlazení. Podstatou sušení vzduchu chlazením je snížení jeho teploty pod hodnotu rosného bodu, aby vodní páry v něm obsažené zkondenzovaly a bylo je možné jednoduše odvést. [1][2]

Druhý stupeň úpravy se zařazuje na konec rozvodné sítě, těsně před vstup stlačeného vzduchu do spotřebiče. Skládá se z jemného filtru, redukčního ventilu a maznice (některé moderní technologie výroby pneumatických prvků dovolují používat i nemazaný vzduch bez snížení jejich životnosti), obvykle je součástí i manometr. V dnešní době se s výhodou uplatňují komplexní jednotky pro úpravu vzduchu, které v sobě zahrnují všechny funkce zmíněných zařízení. [1][2]

3.2.3 Rozvod stlačeného vzduchu

Základní požadavky pro zajištění maximální hospodárnosti a spolehlivosti rozvodné sítě jsou:

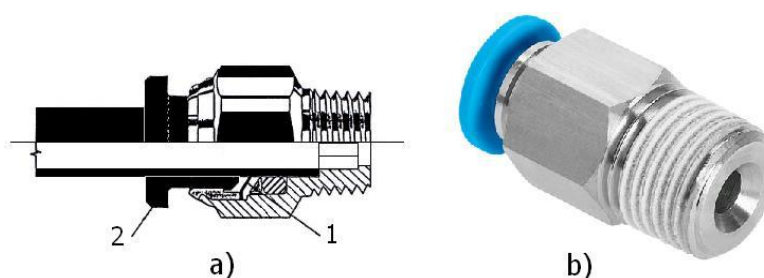
- malá tlaková ztráta mezi kompresorem a spotřebičem – Maximálně 8 -10 % provozního tlaku kompresoru (což při provozním tlaku 0,6 MPa přibližně odpovídá 50 kPa).
- malé objemové ztráty netěsnostmi – Maximálně 2,5 - 3 % výkonnosti kompresoru na 1 km délky rozvodu.
- účinné odvádění kondenzátu – Nejen na začátku, ale i v hlavních odběrových místech rozvodu je nutné odvádět vzniklý kondenzát. Hlavní potrubí má mít odbočky ke spotřebičům instalované v horní části trubek, aby se předcházelo strhávání kondenzátu do odběrového potrubí. Zároveň má být spádované kvůli zajištění odvodu vzniklého kondenzátu.
- dostatečná pevnost – Potrubí i prvky k němu připojené musí být dostatečně odolné proti porušení vnitřním přetlakem nebo vnějšími silami. [3][5]

Konstrukce potrubí a jeho spojování

Na stavbu vnějšího a hlavního vnitřního rozvodu, kde průměry potrubí dosahují desítek až stovek milimetrů, se používají ocelové, měděné nebo hliníkové trubky, které se spojují přírubami a šroubeními. [3]

Pro připojení pneumatických zařízení se nejčastěji používají plastové hadice. Jsou vhodné jak pro silové, tak i pro řídicí obvody. Jejich ohebnost umožňuje snadnou manipulaci. Připojování a spojování plastových hadic se provádí pomocí nástrčných šroubení, jejichž princip je patrný z obr. 2. Nastrčením hadice do šroubení se deformuje pružný svěrací kroužek 1, který hadici sevře a brání jejímu vytržení. Demontáž se provede zasunutím kroužku 2 do šroubení, čímž se kroužek 1 deformuje a uvolní hadici k vysunutí. [3]

Obr. 2 Nástrčné šroubení



a – princip (1 – svěrací kroužek, 2 – demontážní kroužek) [2];

b – ukázka z katalogu Festo [zdroj: www.festo.com]

3.3 Pneumatické motory

Pneumatické motory jsou pracovní prvky, které převádějí energii stlačeného vzduchu na mechanickou energii přímočarého nebo rotačního pohybu. Podle druhu výstupního pohybu lze rozlišit motory přímočaré, rotační a kyvné. Výpočet parametrů pneumatických motorů je poměrně složitou záležitostí. Navíc pro každý typ mohou být výpočty dosti odlišné, proto je zde uvedeno pouze několik obecně platných vztahů.

$$F_t = p \cdot S \qquad M_t = F_t \cdot r \qquad P = F_t \cdot v = M_t \cdot \omega = p \cdot Q$$

kde F_t – teoretická síla pístu [N]

p – pracovní tlak [Pa]

S – účinná plocha pístu [m²]

M_t – teoretický točivý moment [N·m]

r – vzdálenost působíště síly od osy otáčení [m]

P – příkon [W]

v – rychlost pístu [m·s⁻¹]

ω – úhlová rychlost [rad·s⁻¹]

Q – objemový průtok (spotřeba vzduchu) [m³·s⁻¹]

Při praktických výpočtech u konkrétních typů motorů je třeba zvažovat další fakta ovlivňující technické parametry – např. pasivní odpory, setrvačné síly, nebo že při vyšších otáčkách (resp. počtech zdvihů za jednotku času) se pracovní prostory již nestačí plnit na maximální tlak. Takové skutečnosti se potom vyjadřují různými experimentálně zjištěnými opravnými součiniteli – koneckonců jako u většiny strojních součástí.

3.3.1 Pneumatické motory pro přímočarý pohyb

Přímočaré pneumotory představují asi 40 % z celkového objemu všech vyráběných pneumatických prvků. Existují motory nejrozmanitějších konstrukcí. Jejich nejčastější provedení je pístové (jednočinné a dvojčinné), mnohdy také bývají realizovány jako bezpístnicové, membránové, měchové či fluidní svaly. [3]

Pístové pneumatické motory, často označované jako pneumatické válce, dosahují výsledného přímočarého pohybu zaplňováním prostoru válce tlakovým vzduchem. Ve válci je uložen pohyblivý píst pevně spojený s pístnicí. Účinkem tlaku vzduchu působí na píst síla, která způsobuje jeho pohyb – a tím i pohyb pístnice.

Jednočinné pístové motory se vyznačují tím, že tlakový vzduch působí vždy na stejnou stranu pístu, mohou tedy vykonávat mechanickou práci pouze v jednom směru pohybu. Zpětný pohyb pístu je realizován silou pružiny nebo vnější silou, která musí být tak velká, aby byl pohyb dostatečně rychlý. Jejich zdvih je omezen použitelnou délkou pružiny. Je-li nutné vyhovět potřebě pasivní bezpečnosti, tak se používají i opačná provedení, kde pracovní zdvih je uskutečněn pružinou a zpětný pohyb je vykonán tlakem vzduchu. [1]

U dvojčinných pístových pneumatických motorů vyvozuje tlakový vzduch sílu v obou směrech. Proto se používají v případech, kdy má píst vykonávat pracovní činnost i při zpětném pohybu. Délka zdvihu je prakticky omezena pouze vzpěrnou pevností pístnice. Jestliže jsou s pohybujícím se pístem spojeny velké hmotnosti (a s tím spojená velká setrvačná síla), používá se v koncových polohách

tlumení, aby se zamezilo vzniku rázů, a tím i případnému poškození. [1] Ukázka dvojčinného pístového pneumotoru je na obr. 3.

Obr. 3 Dvojčinný pístový pneumatický motor

[zdroj: www.festo.com]



Konstrukce bezpístnicových pneumotorů vychází opět z principu pohyblivého pístu ve válci, avšak jeho posuvný pohyb se již nepřenáší pístnicí, nýbrž buď pružným kovovým páskem spojeným s unášecí přírubou nebo působením uzavřeného magnetického pole permanentních magnetů umístěných v pohyblivém pístu a unášecím kroužku. Jejich význam je především v úspoře místa u přímočarých motorů větších zdvihů. [3]

U membránových pneumotorů přebírá úlohu pístu membrána, která bývá nejčastěji vyrobena z pryže, plastu nebo kovu. K membráně je v jejím středu uchycena pístnice a svým obvodem je membrána uchycena v tělese motoru. Jejich výhodou je dokonalá těsnost, nevýhodou je malý zdvih. [1]

Zajímavou obdobou jednočinných pneumatických motorů jsou měchy a fluidní svaly, kde se malého zdvihu a velkých sil dosáhne naplňováním prostoru pneumatiky nebo kontrakční hadice stlačeným vzduchem.

3.3.2 Pneumatické motory pro rotační a kyvný pohyb

Rotační pneumotory jsou pro realizaci technologických procesů využívány mnohem méně než motory elektrické, často se však uplatňují jako pohony ručních pneumatických rotačních nástrojů. Existuje více konstrukčních principů. Pro svou

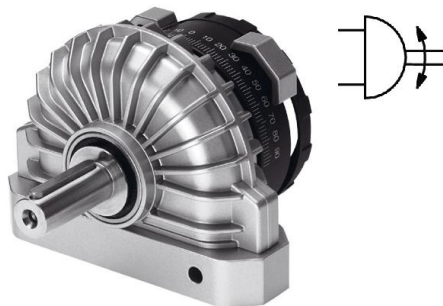
jednoduchost a malou hmotnost jsou nejvíce rozšířené křídlové motory, které pracují na obráceném principu činnosti křídlových kompresorů. [7]

V celé řadě mechanismů, jako jsou například montážní, balicí a transportní zařízení, ale také u robotů, je požadován rotační pohyb uskutečnitelný pouze v určitém rozmezí. Právě proto se používají pneumatické motory pro kyvný pohyb. Nejčastější motory tohoto typu jsou křídlové nebo pístové. [2]

Činnost křídlových pneumatických motorů pro kyvný pohyb spočívá v působení tlakového vzduchu na jednu stranu lamely (křídla), která se pak natáčí kolem osy rotačního pláště. Lamela je v ose otáčení pevně spojená s hřídelí a přenáší na ní krouticí moment. Ukázka takového motoru je na obr. 4. Při použití jednostranné lamely může být úhel kyvu až 270 stupňů. Oproti tomu dvojitá lamela umožňuje úhel kyvu jen poloviční, ale zase s dvojnásobným krouticím momentem.

Obr. 4 Křídlový pneumatický motor pro kyvný pohyb

[zdroj: www.festo.com]



Pístové motory pro kyvný pohyb využívají, pro přeměnu pneumatické energie na mechanickou, stejného principu jako klasické pístové motory s tím rozdílem, že získaný přímočarý pohyb ještě transformují na pohyb kyvný. Toho se dosahuje ozubeným převodem. Klasická pístnice pneumotoru je nahrazena ozubenou tyčí nebo ozubeným věncem, které jsou v záběru s ozubeným kolem. S ním je pak pevně spojena hřídel, na kterou se přenáší krouticí moment. Jejich předností je schopnost pracovat s větším protočením než 360 stupňů a také s podstatně většími krouticími momenty než motory křídlové. [2]

3.4 Ventily

Při přenosu energie v pneumatických systémech je nutno realizovat operace umožňující řízení výstupních parametrů podle požadavků daných technologickým procesem. Mezi základní operace řízení výstupních parametrů pneumatického systému patří hrazení průtoku, řízení průtoku a řízení tlaku stlačeného vzduchu. K tomu slouží ventily. V celkovém objemu výroby pneumatických prvků zaujímají asi 42 %. Starší literatura řadí ventily společně s rozváděči do skupiny řídicích prvků. Současné normy a výrobci pneumatických prvků název rozváděč neuvádějí a celou skupinu řídicích prvků označují jednoduše jako ventily. Pomineme-li název rozváděč, není rozdělení rozsáhlé skupiny ventilů vůbec snadné. Přehledný a dostatečně srozumitelný se zdá být následující způsob:

- rozváděcí ventily
- ventily jednosměrné, škrticí a tlakové

3.4.1 Rozváděcí ventily

Rozváděcí ventily (starší název – rozváděče) se používají především ke hrazení a řízení směru průtoku vzduchu. Dají se rozdělit například podle:

- počtu přípojů - dvoucestné, třícestné, čtyřcestné a vícecestné.
- počtu funkčních stavů - dvupolohové, třípolohové a vícepolohové.
- způsobu ovládní – manuálně, mechanicky, elektricky a pneumaticky ovládané, případně kombinované
- trvání ovládacího signálu – monostabilní, impulzní a proporcionální
- konstrukčního principu – sedlové a šoupátkové

Monostabilní ventily potřebují pro trvalé přestavení do požadované funkční polohy ovládací signál zachovat – jsou ovládané trvalým signálem. Po jeho zrušení se ventil automaticky přestaví do výchozí polohy.

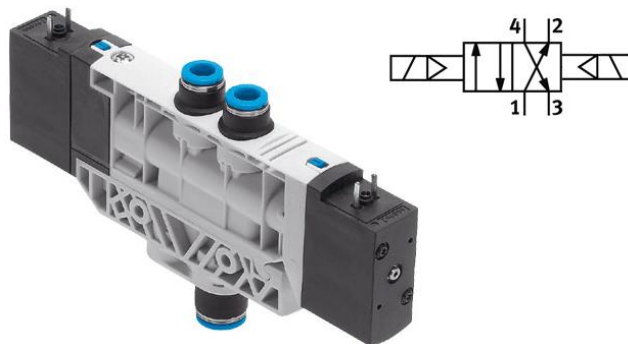
Impulzním ventilům stačí, jak už z označení vyplývá, k přestavení do požadované funkční polohy pouze krátkodobý ovládací signál (impulz), přičemž v této poloze setrvávají i po zániku signálu. Pro návrat do původní polohy je třeba přivést další impulz. Někdy se tyto ventily také označují jako bistabilní.

Proporcionální průtokové ventily (nejčastěji ovládané elektrickým signálem) tvoří poněkud zvláštní kategorii rozváděcích ventilů. Kromě hrazení a řízení směru průtoku vzduchu dokážou řídit i jeho velikost. Protože jsou ovládané proporcionálním signálem, nacházejí uplatnění při nastavování přesných poloh servopneumatických zařízení.

Označení ventilů je dáno počtem vnějších přípojů a počtem funkčních stavů (poloh). První číslo udává počet přípojů (přívodních, pracovních a odvětvů). Druhé číslo označuje počet poloh. 4/2 ventil od firmy Festo je pro ilustraci na obr. 5. Podle schématické značky lze poznat, že je nepřímým ovládaným elektrickým impulzem. Rozdíl mezi přímým a nepřímým ovládaním je vysvětlen v kapitole 5.

Obr. 5 Elektricky ovládaný impulzní 4/2 ventil

[zdroj: www.festo.com]



Důležitým faktorem pro životnost, způsob ovládaní i vlastní rozměry ventilů je jejich konstrukční princip. U sedlových rozváděcích ventilů se průtočné kanály hradí dosedáním uzavíracího prvku (kulička, talíř apod.) do sedla. Jsou robustní, necitlivé na nečistoty a mají vysokou životnost, ovšem je třeba větší

ovládací síla. Šoupátkové rozváděcí ventily hradí své průtočné kanály válcovými či plochými šoupátky. Dají se ovládat menšími silami než ventily sedlové, ale jejich utěsnění je složitější. Mají také delší časy přepnutí. [1] Vnitřní uspořádání různých typů ventilů je podrobněji popsáno až v kapitole 5.

3.4.2 Ventily jednosměrné, škrticí a tlakové

Jednosměrné ventily

Mohou být dvoucestné nebo třícestné. Dvoucestné jednosměrné ventily se častěji označují jako zpětné. Jejich základní funkcí je hrazení (uzavírání) průtoku v jednom směru, zatímco ve druhém směru umožňují volný průtok s minimálním odporem. Třícestné jednosměrné ventily se v pneumatických systémech používají jako ventilová hradla pro realizaci logických funkcí (viz kapitola 5). [3]

Škrticí ventily

Jejich funkcí je škrtit průtok vzduchu, čímž lze ovládat rychlost pohybu pneumatických motorů. Samostatný škrticí ventil působí oboustranně. Obvykle je ale potřeba škrtit průtok vzduchu pouze v jednom směru. Toho se dosáhne paralelní kombinací škrticího a zpětného ventilu. Funkce obou těchto ventilů se mnohdy spojují do jediného kompaktního prvku. V podstatě lze rozlišit škrcení na vstupu a na výstupu. Pokud je to možné, mělo by být škrcení prováděno vždy na výstupu vzduchu z pneumatického motoru. To má totiž příznivý vliv na rovnoměrnost chodu motoru – zejména při proměnlivém zatížení. [8]

Tlakové ventily

Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny jsou redukční a pojistné ventily. Jejich funkce se častokrát spojují do jediného prvku. Redukční ventily udržují konstantní hodnotu nastaveného výstupního tlaku vzduchu nezávisle na změnách tlaku vstupního. Podmínkou správné funkce však je, aby minimální hodnota vstupního tlaku byla vyšší, než je požadovaná hodnota tlaku výstupního. Zajišťují tak tlakovou stabilitu pneumatického systému, a tím i konstantní silové působení

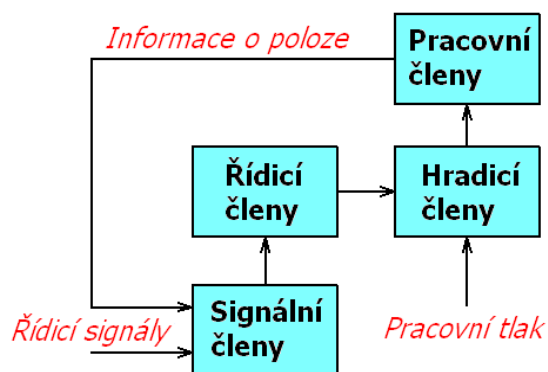
pracovních prvků. Redukční ventil pracuje na principu zachování silové rovnováhy mezi pružinami a výstupním tlakem působících na membránu, která přenáší silové difference na uzávěr sedla. Regulace tlaku tak spočívá v ovládní průtoku vzduchu neustálým otevíráním a přivíráním sedlového ventilu. Velikost výstupního tlaku lze nastavovat předpětím membrány. [1][3]

Pojistné ventily jsou v činnosti pouze při stoupení tlaku nad stanovenou mez, kdy okamžitě otevírají odvětrání do atmosféry. To trvá tak dlouho, dokud tlak zase neklesne na přípustnou hodnotu. Tím chrání zařízení proti přetížení. [6]

4 Logické řízení pneumatických systémů

Řízení pneumatických systémů je nutnou podmínkou pro realizaci technologických procesů, pro které jsou zařízení určena. Logicky spojuje vstupní signál a jeho zpracování s působením na pracovní člen. Blokové schéma řízení je na obr. 6.

Obr. 6 Schéma řízení pneumatických systémů [4]



Úkolem signálních členů je převést řídicí signály v různých formách na signál pneumatický. Pomocí řídicích členů se vytváří konkrétní logické funkce. Hlavní funkcí hradicích členů je přímé ovládní členů pracovních – těmi jsou pneumatické motory. Většinou se jako jeden ze vstupních řídicích signálů využívá informace o dosažené poloze motoru zaznamenaná např. pomocí magnetických snímačů polohy umístěných na vnější straně pláště motoru. [4]

Některá literatura uvádí, že pneumatické signály určené pro řízení by měli mít hodnotu tlaku řádově nižší, než je tlak v pracovní části obvodu. Při studiu konkrétních zapojení je ale vidět, že většinou se jejich tlak nikterak neliší od toho v pracovní části (tj. obvykle 0,6 MPa). Široký rozsah řídicího tlaku moderních ventilů to bez problémů umožňuje. Používáním stejné tlakové úrovně v celém pneumatickém systému se omezí počet potřebných redukčních ventilů, ale zase stoupne spotřeba vzduchu. Také by se mohlo zdát, že rozdělení na řídicí a hradicí členy je nadbytečné, ale má to své opodstatnění. Každý ventil způsobuje určitou tlakovou ztrátu, a je-li jich pro uskutečnění logické funkce potřeba větší počet, může celková tlaková ztráta zapříčinit nesprávnou funkci pracovních členů. Právě proto se takto zatížený pneumatický signál využívá pouze k ovládní hradicích členů, které pak ovládají pracovní členy přímo.

4.1 Logické obvody

Pneumatické řídicí prvky mohou být použity buďto samostatně nebo k účelné skladbě při realizaci logických obvodů. Jedná se o prvky s impulzním nebo monostabilním ovládním, jimiž se realizuje dvouhodnotová funkce – pracují tedy s binárním signálem. [4] Logické obvody lze rozdělit na kombinační a sekvenční. Kombinační logický obvod je charakterizován jednoznačnou, bezpaměťovou závislostí mezi vstupní a výstupní veličinou. Oproti tomu sekvenční logický obvod pracuje se zachováním dosažené hodnoty výstupní veličiny – a to i po zániku spouštěcího signálu.

V řídicí technice se k popisu vztahů mezi logickými proměnnými užívá Booleova algebra. Využívá se přitom normovaného pojmenování logických funkcí, symbolických rovnic a značek či tabulkového zápisu. Základní logické funkce realizované pomocí pneumatických prvků jsou:

- ▶ logický součin („A“ ; „AND“) – Výstupní signál je aktivní pouze tehdy, když jsou aktivní všechny vstupní signály.

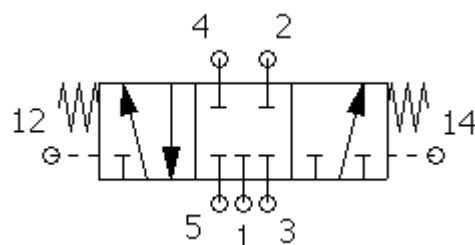
- logický součet („NEBO“ ; „OR“) – Výstupní signál je aktivní tehdy, když je aktivní alespoň jeden ze vstupních signálů.
- logická negace („NE“ ; „NOT“) – Je realizována tehdy, je-li logická hodnota výstupního signálu vždy opačná než hodnota signálu vstupního.
- časové zpoždění – V principu jde o cílené nastavení prodlevy mezi vstupním a výstupním signálem.

4.2 Pneumatická schémata a zobrazování průběhu pohybů

Prvky potřebné pro napájení jsou umístěny zcela dole, tok signálu se kreslí zdola nahoru. Označování ve schématech vychází z normalizovaného kreslení pneumatických prvků a obvodů dle normy ČSN ISO 1219-1. Prvky se zobrazují ve výchozím postavení (klidový stav). Značení přípojí a vývodů pneumatických prvků vychází z normy ISO 5599 viz obr. 7.

Obr. 7 Značení vstupů a výstupů ventilů dle normy ISO 5599 [4]

Název	ISO 5599
pracovní výstupy	2, 4, 6
přívod tlakového vzduchu	1
odfuk do atmosféry	3, 5, 7
ovládací (řídící) vstupy	12, 14, 16



Pneumatický obvod nakreslený normalizovanými značkami prvků je pro zvýraznění jeho funkce a příslušnosti jednotlivých prvků k řízenému pneumotoru doplněn označením. [4]

Přehledné a rozšířené je číslování podle skupin tak, že skupinu 0 tvoří prvky zdroje stlačeného vzduchu a další skupiny tj. 1, 2, 3 atd. přísluší jednotlivým ovládacím obvodům, přičemž ke každému pneumotoru patří jedno číslo skupiny. Tento způsob označování má výhodu především v posouzení funkčnosti prvku při diagnostice. [4]

K vyjádření pohybových stavů pneumotoru ve vazbě na různé snímače a spínače určující tyto stavy se používají písmena. Pneumotory se pak označují velkými písmeny, koncové spínače a signální prvky malými písmeny s indexy „0“ pro „zasunutí“ a „1“ pro „vysunutí“. Předností tohoto způsobu označování je okamžitá orientace v tom, jaký prvek je aktivován určitou polohou motoru. [4]

Správné pochopení funkce pneumatického systému ve vazbě na daný technologický proces a také zajištění souslednosti pohybů pracovních prvků vyžaduje zvolit vhodnou formu znázornění. Existuje více možností, ale zřejmě nejnázornější formou je tzv. krokový pohybový diagram, který zachycuje průběh dráhy přímočarých a kyvných pneumotorů v závislosti na odpovídajícím kroku – změně stavu. Jednotlivé kroky jsou vynášeny na vodorovnou osu, dráha pak na osu svislou. Obě osy mají rovnoměrné dělení. Je-li třeba zobrazit rozdílné rychlosti pohybů pracovních prvků, může být na vodorovnou osu vynášen přímo čas (v měřítku) – takový pohybový diagram se potom nazývá časový. [1]

5 Realizace logických funkcí pomocí pneumatických prvků

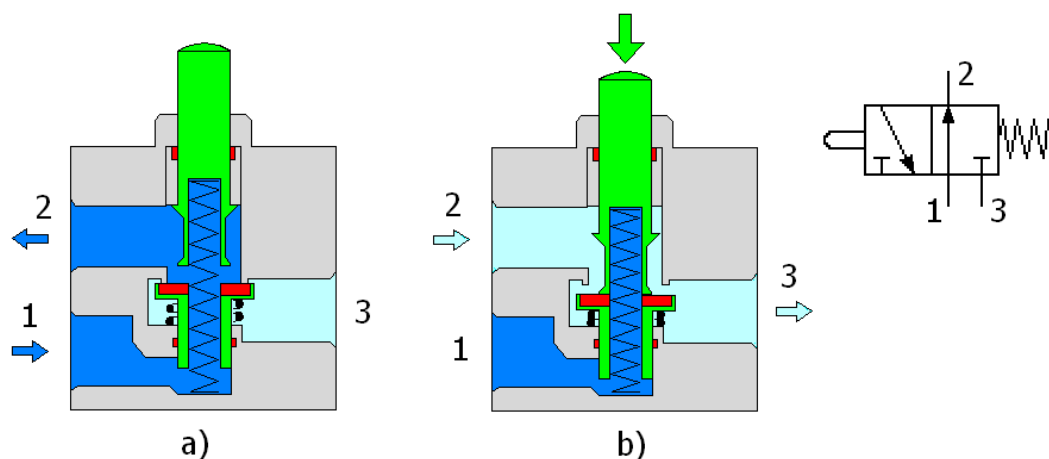
Obsahem této kapitoly je především popis vnitřní struktury pneumatických prvků používaných k realizaci logických funkcí. Existuje celá řada konstrukčních řešení, které se často ještě spojují do složitějších celků a tvoří tak mnohem komplexnější členy. V následujících podkapitolách jsou zmíněny jen nejběžnější prvky vybrané tak, aby bylo možné ukázat a popsat co nejvíce konstrukčních principů. Někomu by se mohlo zdát, že konstrukce ventilů je zbytečně složitá, ale je třeba si uvědomit, že většina z nich se vyznačuje tzv. pozitivním krytím. To znamená, že při přestavování nedochází k nežádoucímu propojení kanálů, se kterým by byly spojené nadměrné ztráty vzduchu.

5.1 Třícestné rozváděcí ventily

Tyto ventily se často používají ke střídavému naplňování a vyprazdňování pracovního prostoru – především jednočinných přímočarých motorů. Princip činnosti třícestného ventilu ovládaného mechanickou nárazkou je na obr. 8.

Obr. 8 Ventil 3/2 ovládaný nárazkou (ve výchozí poloze otevřený)

[zdroj: Festo FluidSIM]



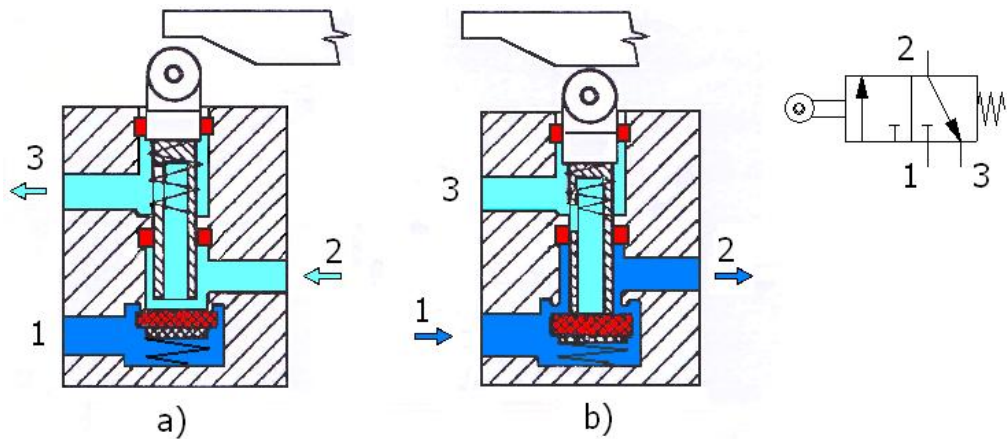
a – otevřená (výchozí) poloha; b – uzavřená poloha

Ve výchozí poloze je přívod tlakového vzduchu 1 spojen s pracovním výstupem 2. Aktivací nárazky se nejprve přeruší průtok vzduchu kanálem 1-2, potom se otevře cesta kanálem 2-3 a pracovní výstup se odvětrá do atmosféry. Po uvolnění nárazky se pomocí pružiny ventil vrátí do výchozí polohy. Je třeba podotknout, že výchozí poloha ventilu nemusí být pevně stanovena, většinou ji lze nastavit záměnou přívodu tlakového vzduchu 1 s odfukem do atmosféry 3.

Konstrukční princip 3/2 rozváděcího ventilu s přímým mechanickým ovládním pomocí kladky a kulisy je na obr. 9. Ve výchozí poloze je přívod vzduchu 1 uzavřen, a pracovní výstup 2 je spojen otvorem v čepu s odfukem do atmosféry 3. Najetím kulisy na kladku dosedne čep na těsnící talířek, a uzavře tak kanál 2-3. Při pokračování najíždění kulisy na kladku se talířek odtlačí ze sedla proti síle pružiny a spojí přívod 1 s pracovním výstupem 2. Po zániku ovládacího

signálu (tj. až kulisa sjede z kladky) vrátí pružiny talířek i čep zpět – tím se ventil přestaví do výchozí polohy. [3]

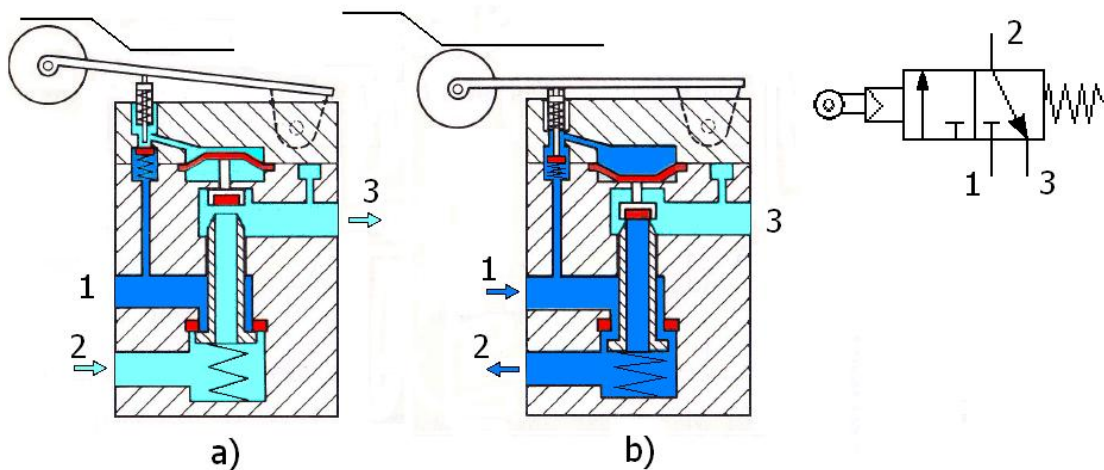
Obr. 9 Ventil 3/2 přímo ovládaný kladkou [3]



a – uzavřená (výchozí) poloha; b – otevřená poloha

Velikost síly potřebné pro ovládání ventilů určuje oblast jejich použitelnosti. Aby se tato síla snížila, používá se tzv. nepřímé ovládání. Princip funkce takového rozváděcího ventilu je znázorněn na obr. 10.

Obr. 10 Ventil 3/2 nepřímě ovládaný kladkou [8]



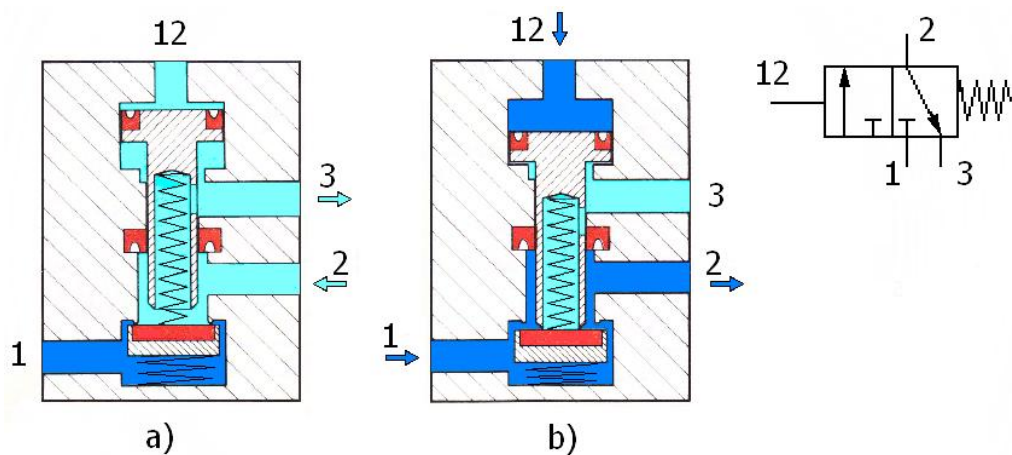
a – uzavřená (výchozí) poloha; b – otevřená poloha

Z přívodu 1 je tlakový vzduch vyvrtaným kanálem přiváděn k pomocnému ventilu. Najetím kladky na kulisu dojde k jeho otevření a vzduch začne proudit k membráně, se kterou je pevně spojen talířek. Nejprve se dosednutím talířku na uzavírací čep přeruší spojení pracovního výstupu 2 s odfukem 3. Další deformací membrány se uzavírací čep zvedne ze sedla a dojde tak k otevření

cesty 1-2. Pro návrat do původní polohy musí nejprve zaniknout signál na kladce. Tím se přeruší přívod tlakového vzduchu k membráně, zároveň se prostor membrány odvětrá přes pomocný ventil do atmosféry a pružina vrátí uzavírací dutý čep zpět do výchozí polohy. [8]

Na obr 11. je pneumaticky ovládaný rozváděcí ventil. Přivedením řídicího pneumatického signálu na vstup 12 se nejprve přestavením pístu s čepem uzavře kanál 2-3. Dalším pohybem se talířek zvedne ze sedla a kanál 1-2 se otevře. Po odlehčení vstupu 12 vrátí pružiny píst i talířek do výchozí polohy. [8]

Obr. 11 Pneumaticky ovládaný 3/2 ventil [8]



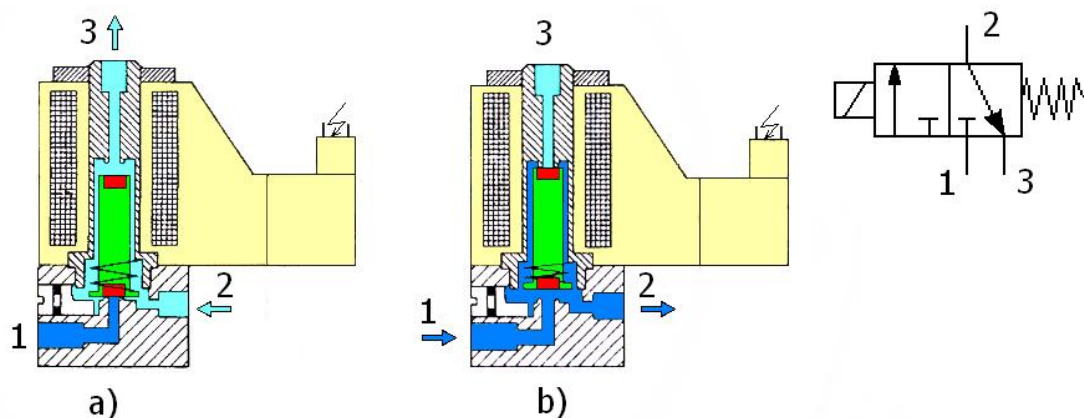
a – uzavřená (výchozí) poloha; b – otevřená poloha

Záměnou přívodu vzduchu 1 s odfukem do atmosféry 3 lze u rozváděcího ventilu z obr. 11 změnit výchozí polohu na otevřenou. Právě pneumaticky ovládané 3/2 rozváděcí ventily ve výchozí poloze otevřené se mohou využívat k realizaci logické funkce negace („NE“; „NOT“).

Kde je nutno realizovat řízení na větší vzdálenosti s požadavkem na krátké časové odezvy, tam se dají výhodně použít elektricky ovládané rozváděcí ventily. Příklad takového ventilu je na obr. 12. Jádru elektromagnetu je na obou koncích opatřeno těsněními. Ve výchozí poloze se působením pružiny uzavírá sedlo na přívodu 1. Pracovní výstup 2 je přes elektromagnet spojený s odfukem 3.

Přivedením elektrického signálu na cívku elektromagnetu dojde k přitažení jádra proti síle pružiny. Tím se vytvoří cesta pro průtok tlakového vzduchu 1-2 a jádro elektromagnetu současně uzavře svým čelem odfuk 3. Po zániku ovládacího signálu vrátí pružina jádro elektromagnetu zpět a přestaví tak ventil do výchozí polohy. Při přestavování ventilu se po krátkou dobu propojí všechny kanály (tzv. negativní krytí). Doba přestavení u elektricky ovládaných ventilů je velice krátká, takže ztráty vzduchu s ní spojené jsou minimální. [8]

Obr. 12 Ventil 3/2 s přímým elektrickým ovládním [8]



a – uzavřená (výchozí) poloha; b – otevřená poloha

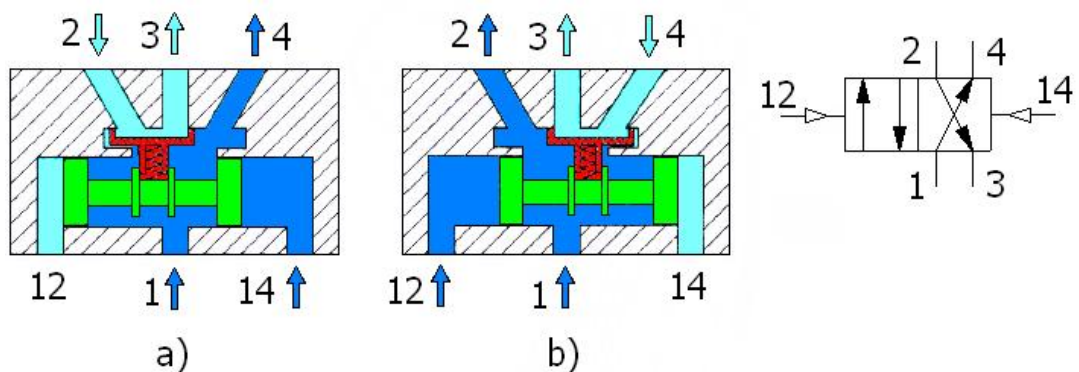
Elektrické ovládní může být, stejně jako mechanické a pneumatické, přímé nebo nepřímé. Přímé ovládní spočívá v tom, že pracovní prvek, umístěný na elektromagnetu, je přímo ovládný proudem procházejícím cívku viz obr. 12. Tento způsob ovládní se používá jen u ventilů s menšími průtočnými průřezy, protože u větších by bylo zapotřebí neúměrně velkých elektromagnetů. Právě s ohledem na značné rozměry elektromagnetů se používá ovládní nepřímé. To spočívá v ovládní pomocného ventilu s malým průtočným průřezem (a s tím spojenou malou ovládací silou), který pak tlakem přestavuje hlavní uzavírací prvek rozváděcího ventilu – podobně jako je tomu i na obr 10. [8]

5.2 Čtyřcestné a vícecestné rozváděcí ventily

Slouží pro hrazení průtoku stlačeného vzduchu do dvou pracovních prostorů zároveň. Jejich nejčastější použití je při řízení pohybu dvojčinných přímočarých motorů. Mohou být dvou, tří i vícepolohové, s různým propojením kanálů ve střední poloze. Čtyřcestné rozváděcí ventily mají vyprazdňování pracovních prostorů vyvedené do jednoho společného výfuku, pěticestné mají výfukové kanály dva.

Na obr. 13 je rozváděcí ventil 4/2 s plochým posuvným šoupátkem. Šoupátko, pevně spojené s unášecím pístem, při přestavování propojuje jednotlivé výstupy mezi sebou. Ovládání ventilu se provádí pneumatickým impulzem, který přímo působí na unášecí píst. Přivedením řídicího signálu na vstup 14 dojde k přestavení šoupátka a propojení přívodu vzduchu 1 s pracovním výstupem 4. Zároveň se pracovní výstup 2 spojí s odfukem do atmosféry 3. Poklesne-li ovládací tlak, zůstane šoupátko ve stávající poloze, dokud nepřijde opačný signál. Přivedením řídicího signálu na vstup 12 se šoupátko opět přestaví, spojí přívod vzduchu 1 s pracovním výstupem 2, zároveň pracovní výstup 4 odvětrá do atmosféry. Šoupátko je stále přitlačováno k těsnicí ploše působením tlakového vzduchu a vestavěnou pružinou – bez ohledu na opotřebení dosedacích ploch. Unášecí píst je těsněn ve válci pomocí těsnicích kroužků. [8]

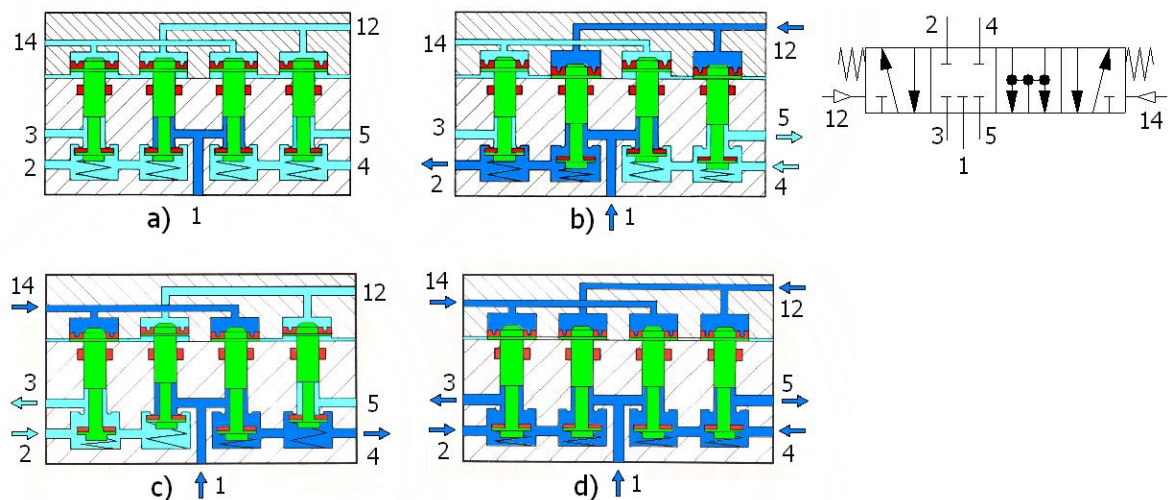
Obr. 13 Pneumaticky ovládaný 4/2 ventil [3]



a – výchozí poloha; b – poloha po přestavení

Na obr. 14 je rozváděcí ventil 5/4 tvořený čtyřmi ventily 2/2. V základní poloze má všechny vstupy i výstupy uzavřené (obr. 14a). Je-li přiveden pneumatický signál na ovládací vstup 12, dojde k propojení pracovního výstupu 2 s přívodem tlakového vzduchu 1 a pracovní výstup 4 je odvětrán přes odfuk 5 do atmosféry, odfuk 3 zůstane uzavřen (obr. 14b). Je-li přiveden signál na ovládací vstup 14, propojí se přívod vzduchu 1 s pracovním výstupem 4 a výstup 2 bude přes odfuk 3 odvětrán do atmosféry. Odfuk 5 zůstane uzavřen (obr. 14c). Další funkční poloha ventilu nastane současným přivedením signálů na oba ovládací vstupy. Tím se všechny kanály propojí a přívod vzduchu i oba pracovní výstupy se odvětrají přes oba odfuky do atmosféry (obr. 14d).

Obr. 14 Pneumaticky ovládaný 5/4 ventil [8]



a – výchozí poloha; b, c, d – další polohy

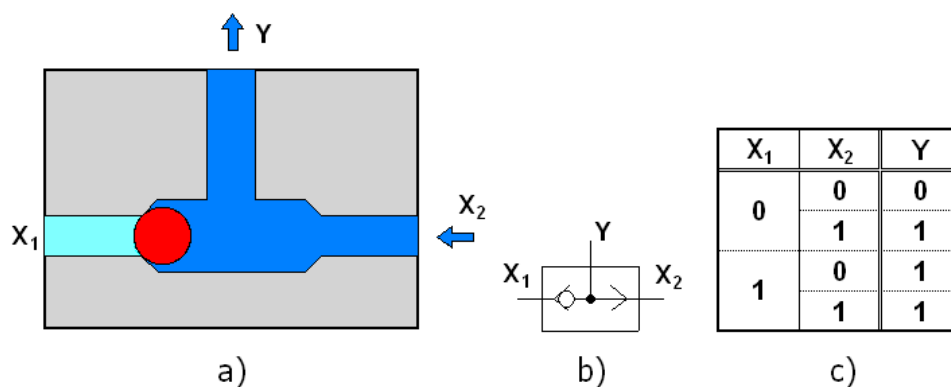
Tyto ventily se používají, je-li třeba dvojčinný pneumotor zastavit v libovolné poloze a také pro nouzový stop. Výchozí poloha ventilu (všechny cesty uzavřeny) je zajištěna pomocí pružin. Při výpadku přívodu vzduchu 1 pak zůstává píst motoru pod tlakem. Přestavování pracovních prvků ventilů je samozřejmě možné i pomocí elektromagnetů. [8]

5.3 Ventilová hradla a zpožd'ovací ventily

Pro realizaci logického součtu („NEBO“; „OR“) dvou tlakových signálů slouží součtová ventilová hradla. Ve své podstatě se jedná o třícestné jednosměrné ventily, jejichž konstrukční princip je na obr. 15. Hradlo má dva vstupy (X_1 , X_2) a jeden výstup (Y). V tělese je vytvořena dvojice sedel, ke kterým se dle okamžité kombinace vstupních pneumatických signálů přitlačuje uzavírací prvek (destička, kulička). Po přivedení signálu pouze na jeden ze vstupů dojde k odtlacení uzavíracího prvku do protilehlého sedla a uzavření druhého vstupu. Tím se otevře cesta pro průtok tlakového vzduchu do výstupu. Přivedením signálu současně na oba vstupy se vždy alespoň jeden dostane na výstup, což si lze podle obr. 15 snadno představit.

Obr. 15 Součtové ventilové hradlo

[zdroj: Festo FluidSIM]



a – konstrukční princip; b – schématická značka; c – pravdivostní tabulka

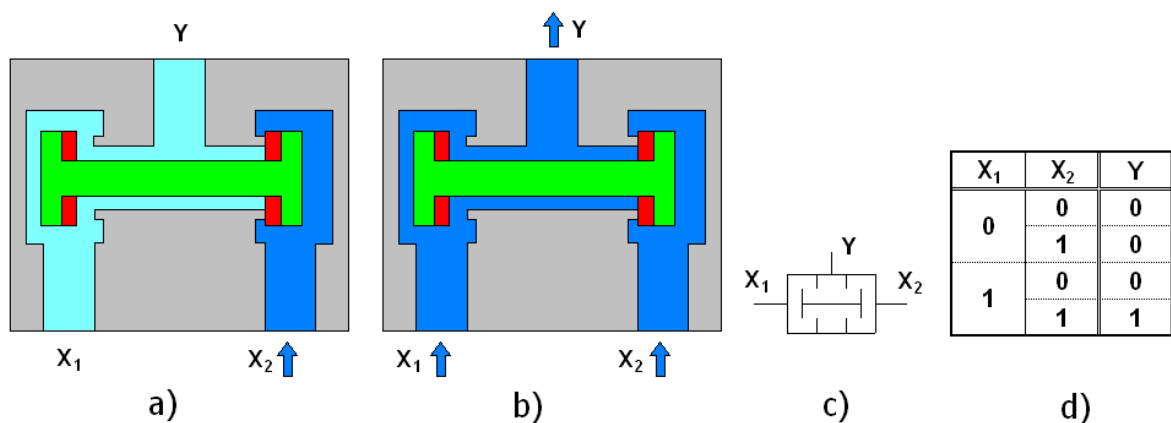
Součtová ventilová hradla se používají, má-li být pneumotor ovládán ze dvou nebo více různých míst. Jejich použití rovněž zabraňuje eventuálnímu zkratování pneumatického signálu do atmosféry přes odvětrání jiného rozváděcího ventilu. [1]

Mnohdy je třeba realizovat pomocí pneumatických prvků logický součin („A“; „AND“). K tomu se využívají součtinová ventilová hradla. I zde se vlastně jedná o třícestné jednosměrné ventily – ovšem s poněkud odlišnou konstrukcí.

Princip činnosti, schématická značka a pravdivostní tabulka jsou na obr. 16. Hradlo má dva vstupy (X_1 , X_2) a jeden výstup (Y). Pokud je pneumatický signál přiveden pouze na jeden ze vstupů, uzavírací prvek je přitlačen do sedla, což způsobí uzavření vstupu ze strany právě působícího signálu a výstup tak zůstane neaktivní. Je-li však přiveden pneumatický signál současně na oba vstupy, jeden z nich přetlačí uzavírací prvek do sedla, a tím druhému signálu umožní průchod na výstup. [1]

Obr. 16 Součinnové ventilové hradlo

[zdroj: Festo FluidSIM]



a, b – konstrukční princip; c – schématická značka; d – pravdivostní tabulka

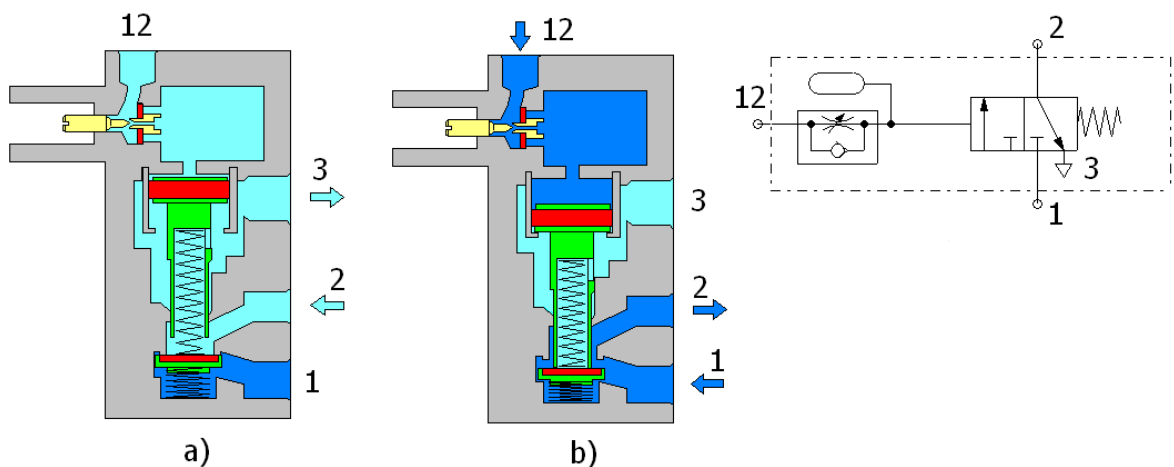
Je-li třeba některý pneumatický signál zpozdít, používají se k tomu speciální ventily pro realizaci časové prodlevy, které se skládají z kombinovaného škrticího a zpětného ventilu, tlakové nádoby a pneumaticky ovládaného 3/2 rozváděcího ventilu. Existují dva základní druhy zpožďovacích ventilů – časový spínač a časový vypínač. U časového spínače je ventil v základní poloze uzavřen a teprve po uplynutí nastavené časové prodlevy od přijetí ovládacího signálu se výstup propojí s přívodem tlakového vzduchu. Oproti tomu časový vypínač má ventil v základní poloze otevřený, takže výstup je spojen s přívodem tlakového vzduchu již ve výchozí poloze. Po uplynutí časové prodlevy se výstup od přívodu odpojí. Čas prodlevy se běžně pohybuje v rozmezí 0 až 30 sekund u obou druhů

spínačů a lze ho prodloužit připojením větší nádoby. Přesnost dodržení nastaveného času je závislá na čistotě a proměnlivosti tlaku vzduchu. [8]

Na obr. 17 je nakreslen konstrukční princip pneumatického časového spínače. Tlakový vzduch se přivádí do ventilu přívodem 1. Ovládací signál je přiveden vstupem 12 přes kombinovaný škrticí a jednosměrný ventil do vestavěné tlakové nádoby. Tlak v této nádobce stoupá rychlostí nepřímo úměrnou velikosti přiškrcení průtoku vzduchu, kterou lze otáčením šroubu nastavovat. Jakmile dosáhne tlak vzduchu v nádobce hodnoty dané konstrukcí ventilu (pružiny a třecí odpory), přestaví se ovládací píst, což uzavře odfuk 3 a spojí pracovní výstup 2 s přívodem 1. Časovou prodlevu určuje doba potřebná k dosažení hodnoty ovládacího tlaku v nádobce. Návrat do výchozí polohy nastane, odvětráním ovládacího vstupu 12, prakticky bez zpoždění. Vzduch z nádoby se totiž odvětrá přes zpětný ventil v jeho propustném směru, a ovládací píst rozváděcího ventilu tak může být pružinou okamžitě vrácen zpět. [8]

Obr. 17 Zpozd'ovací ventil – časový spínač

[zdroj: Festo FluidSIM]



a – výchozí poloha; b – poloha po přestavení

6 Využití pneumatických prvků v dnešní době

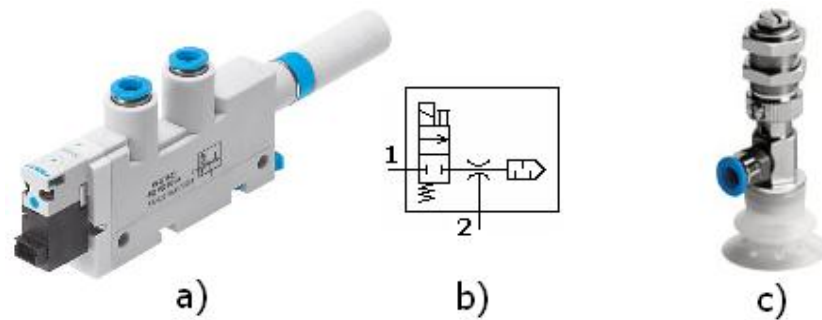
V posledním desetiletí je trendem řídit technologické procesy pomocí programovatelných logických automatů (Programmable logic controllers – PLC). Jejich schopnost realizovat velmi složité logické funkce pomocí relativně jednoduchých programovacích prostředků poněkud změnila pohled na užívání pneumatických prvků pro řízení. Dnes je pneumatické řízení vhodné spíše jen pro jednoduché aplikace a pomocné logické funkce tam, kde by bylo použití PLC nevhodné. Uplatnění pneumatických prvků je rovněž stále žádoucí v prostředích s nebezpečím požáru a výbuchu, kde by aplikace elektrických prvků vyžadovala mnohem nákladnější opatření. Pro realizaci složitějších zapojení se dají s výhodou využít ventilové terminály. Jedná se vlastně o pospojování ventilů na liště se společným přívodem vzduchu, což snižuje potřebný počet i délku hadic a výrazně usnadňuje sestavení celého systému.

Co se týče pneumatických pracovních prvků, jako jsou přímočaré a kyvné motory, zdá se nepravděpodobné, že by jejich podíl při uplatňování ve strojních zařízeních v budoucnosti výrazně klesl. Opodstatnění spočívá v jednoduchosti jejich praktické aplikace pro dvoustavové pohyby. Svoje specifické využití mají i servopneumatické pohony, které navzdory stlačitelnosti vzduchu umožňují pro spoustu aplikací uspokojivé dosahování přesných poloh (řádově na desetiny milimetru). Výraznou měrou k tomu přispívají právě možnosti elektroniky. Zdeněk Haumer ze společnosti Festo pro časopis *Automa* řekl: *„Pneumatické prvky se v porovnání s elektrickými vyznačují konstrukční jednoduchostí a vyšším výkonem vzhledem ke své hmotnosti či velikosti. Jejich nahrazování elektrickými pohony, lze-li o něm vůbec mluvit, má jasný původ v postupující globalizaci světového trhu. Ta totiž výrobce tlačí k větší přizpůsobivosti strojů, častějším změnám nastavení apod. Potřebné polohování pohonů je samozřejmě doménou (nikoliv však zcela) zejména pohonů elektrických.“* [12] Poměrně široké uplatnění lze spatřit i v prvcích vakuové techniky (viz obr. 18), hlavně přísavky sloužících k uchopení některých předmětů

a samozřejmě ejektorů vytvářejících příslušný podtlak. Ejektory využívají známého jevu, kdy změna rychlosti proudícího vzduchu ve zúženém místě kanálu zapříčiní pokles tlaku.

Obr. 18 Vakuová technika

[zdroj: www.festo.com]



a, b – ejektor, vnitřní uspořádání; c – přísavka ESG

V současnosti se při konstrukci strojů stále častěji uplatňují komplexní řešení, kdy se do pneumatických prvků integrují elektronické bloky a vznikají tak mechatronické prvky. Zdeněk Haumer konstatuje: „*Mechatronické prvky jsou velmi zajímavé, neboť kloubí často nedostižné vlastnosti mechaniky se „záračnými“ schopnostmi elektroniky. V pneumatice to konkrétně znamená nebyvalé rozšíření oblastí pro použití výrobků; s trochou nadsázky lze říci, že pneumatika bez elektroniky už téměř neexistuje.*“ [12]

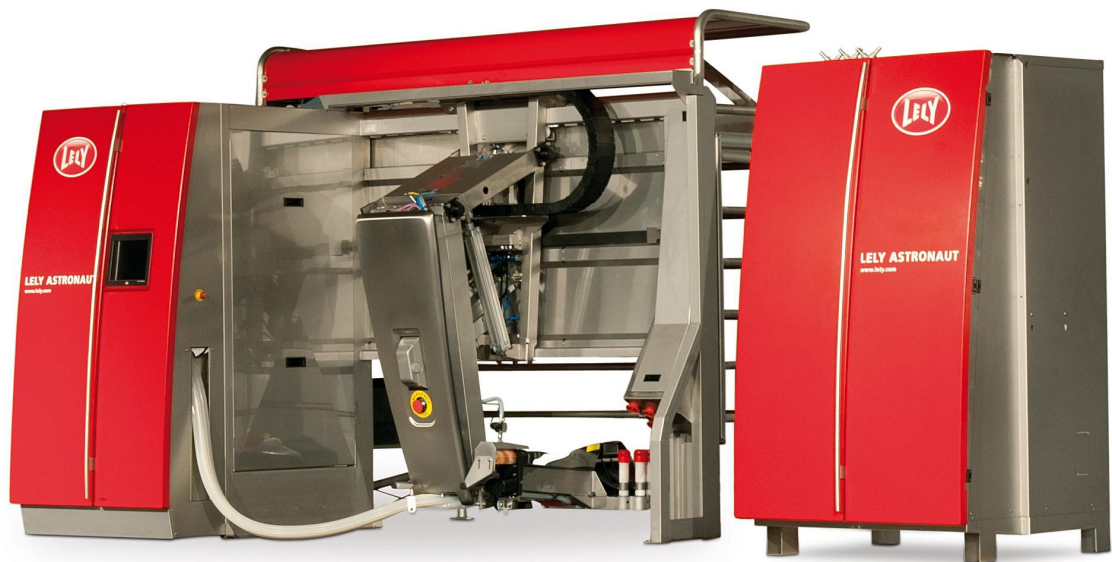
Na rozdíl od elektřiny je využití stlačeného vzduchu podmíněno nutností další přeměny – obvykle z elektrické energie na pneumatickou. Právě proto je jedním z aktuálních výzev v oboru pneumatiky zvyšování energetické účinnosti. Zefektivnění výroby stlačeného vzduchu je už z fyzikálního hlediska hodně omezené, takže se spíše nabízí sledování úniků vzduchu a následné odstraňování příčin. Rovněž lze nalézt jisté rezervy při návrhu pneumatických obvodů (především objem pneumatických motorů). Pro správný výběr výrobků se dnes přední výrobci pneumatických prvků pro automatizaci jako Festo, SMC, Bosch Rexroth či Norgren snaží nabízet nejrůznější softwarové pomůcky. Kromě toho se

výrobci také soustřeďují na snižování pasivních odporů pohyblivých částí a hledání nových principů činnosti prvků. [10][11][12]

Značné rozšíření pneumatických resp. elektropneumatických prvků v nejrůznějších odvětvích lidské činnosti, díky svým specifickým vlastnostem, není překvapující. Lze zmínit třeba potravinářství, manipulace s materiálem, balicí stroje, dopravní prostředky, zemědělství, zdravotnictví, textilní a papírenský průmysl, ruční nářadí. Vskutku příhodným příkladem využití pneumatických prvků v zemědělském průmyslu je servopneumaticky poháněné rameno dojicích robotů Lely Astronaut – nenápadně kontrastující s drsným prostředím kravína. Ukázka je na obr. 19. Rameno má robustní konstrukci, která jej ve spojení se šetrnou charakteristikou pneumatického systému činí odolné vůči všem silám, jaké by mohla dojnice vyvolat.

Obr. 19 Dojící robot Lely Astronaut

[zdroj: www.lely.com]



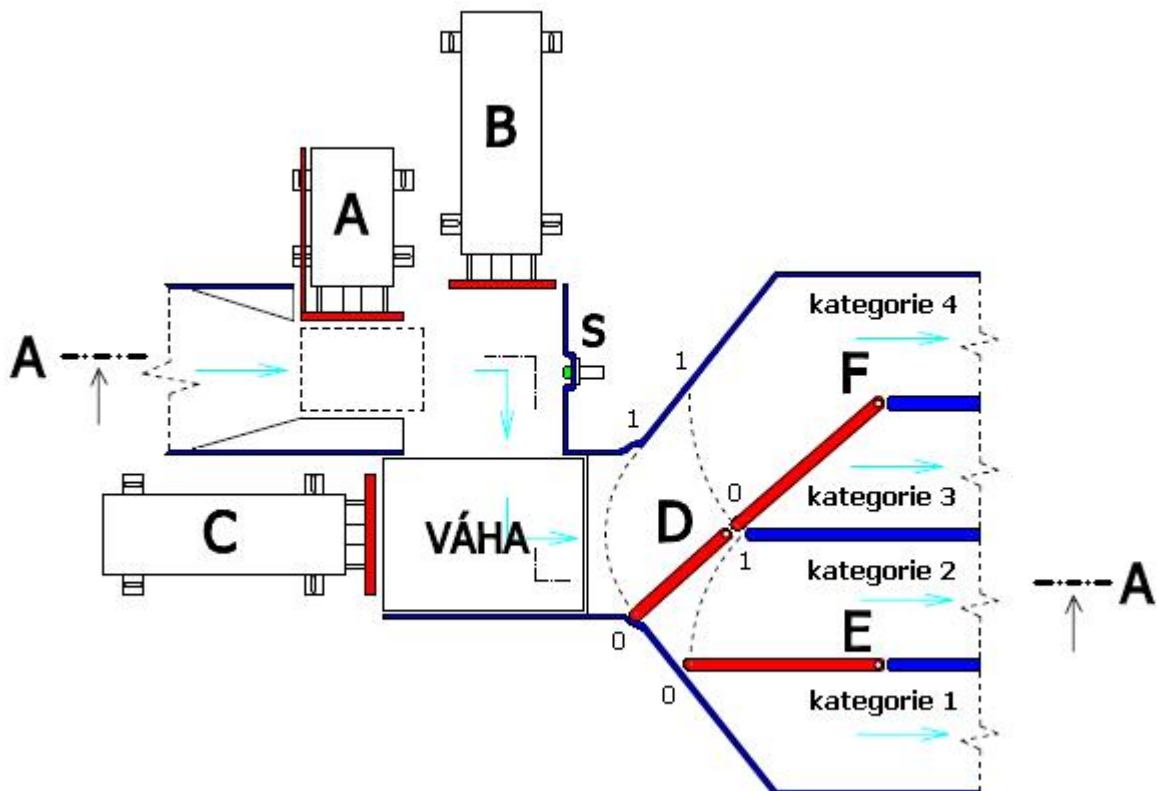
7 Sestavení modelu pomocí pneumatických prvků

Jako ukázka aplikace pneumatických prvků poslouží vlastní návrh automatického třídícího zařízení, jehož schématické uspořádání je na obr. 20, 21.

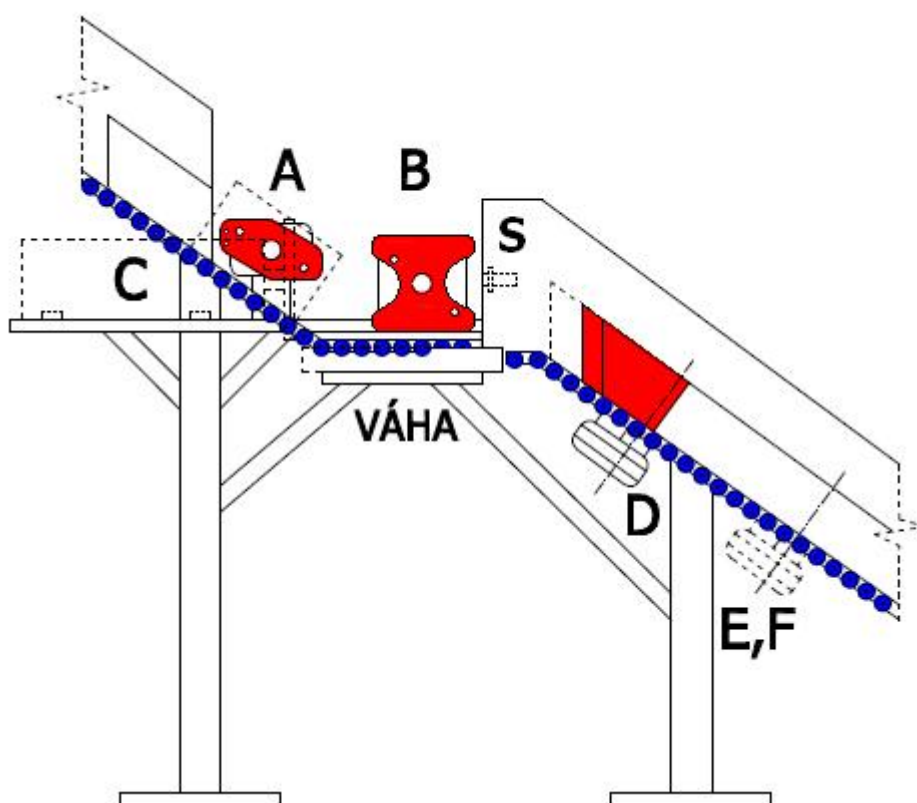
Požadovaná činnost má probíhat takto:

1. Výrobky jsou postupně pomocí přímočarých pneumatických motorů A, B dopravovány na váhu.
2. Podle hmotnosti může být výrobek zařazen až do čtyř kategorií, které jsou určeny polohami kyvných pneumotorů D, E, F.
3. Po vytvoření příslušné cesty je výrobek pomocí přímočarého pneumatického motoru C odsunut z váhy a gravitačním působením zařazen do příslušné kategorie. Následně je zařízení připraveno celý cyklus opakovat pro další výrobek.

Obr. 20 Automatické třídící zařízení – pohled shora



Obr. 21 Automatické třídící zařízení – řez A-A



Návrh se odvíjí od správného pochopení činnosti váhy. Jedná se o tenzometrickou váhu skládající se z platformy a vyhodnocovacího obvodu, jehož součástí je i výstupní modul umožňující po ustálení váhy aktivovat příslušný výstup podle aktuálně nastavených hmotnostních limitů.

Pro řešení byl zvolen software Festo FluidSIM v3.6 – to hned z několika důvodů. Ovládání je intuitivní, tudíž je práce s programem rychlá a příjemná. FluidSIM neslouží jen ke tvorbě pneumatických schémat, ale umožňuje i simulaci činnosti. Dobrým důvodem pro použití tohoto programu je i jeho snadná dostupnost. Je třeba podotknout, že program Festo FluidSIM byl určen pro výuku pneumatiky, nikoliv k profesionální tvorbě pneumatických obvodů – konkrétně v tomto případě je ale dostatečně vhodný.

Celkové schéma řešení úlohy pomocí pneumatických prvků je v příloze 4. Správná orientace ve vstupech, výstupech a dosažených vnitřních stavech je pro pochopení funkce celého pneumatického systému zásadní. Vstupy a výstupy

automatického třídícího zařízení včetně všech signálů informujících o dosažené poloze pracovních prvků jsou vysvětleny níže.

Vstupy:

- START, ZAPNOUT, VYPNOUT/STOP – manuálně ovládané rozváděcí ventily
- S – optické čidlo
- K0 – signál EMPTY (prázdná váha) – výstupní modul váhy
- K1, K2, K3, K4 – signály hmotnostních limitů – výstupní modul váhy
(K1 – hmotnostní kategorie 1; K2 – hmot. kat. 2; K3 – hmot. kat. 3; K4 – hmot. kat. 4)

Výstupy:

- 1.0 (A), 2.0 (B), 3.0 (C) – pneumatické přímočaré motory
- 4.0 (D), 5.0 (E), 6.0 (F) – pneumatické kyvné motory

Informace o dosažené poloze pracovních prvků:

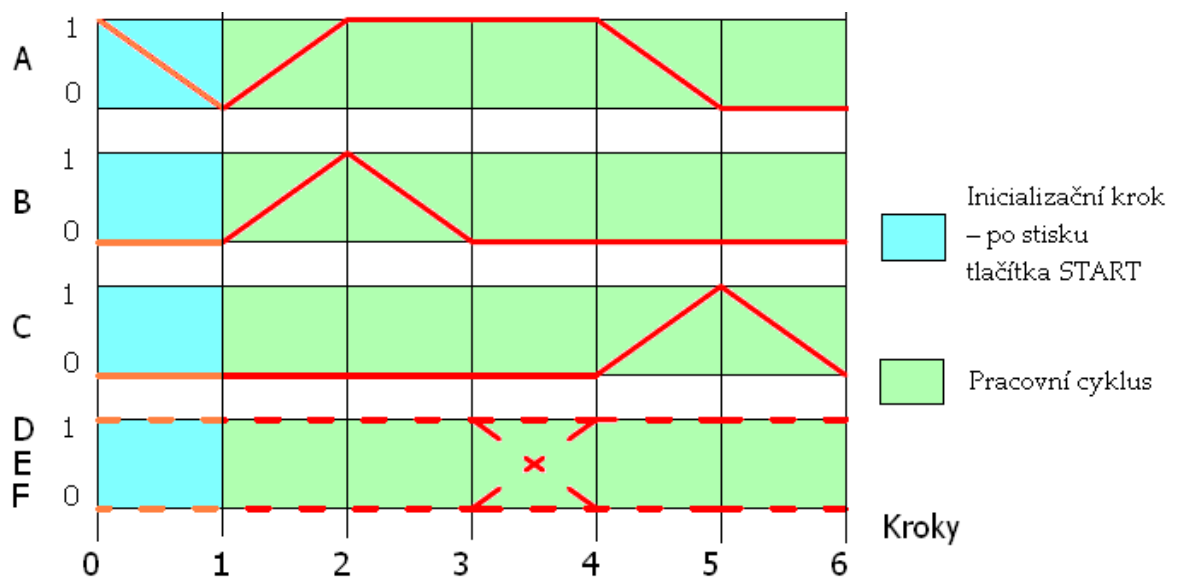
- B0/B1 – přímočarý pneumotor B je plně zasunutý/vysunutý
- C0/C1 – přímočarý pneumotor C je plně zasunutý/vysunutý
- D0/D1 – kyvný pneumotor D je nastavený vlevo/vpravo
- E0/E1 – kyvný pneumotor E je nastavený vlevo/vpravo
- F0/F1 – kyvný pneumotor F je nastavený vlevo/vpravo

Aby byl popis činnosti zařízení co nejsrozumitelnější, tak bude rozdělený do třech fází. Během popisu každé fáze je odkázáno na přílohu znázorňující příslušný stav pneumatického systému. Světle modré čáry v příloze znázorňují části obvodu, které jsou v daný moment spojeny s atmosférou – mají tedy hodnotu atmosférického tlaku. Tmavě modré čáry naopak představují části obvodu s pracovním tlakem (resp. přetlakem). Co se týče elektricky indikovaných signálů, jsou v přílohách znázorněny na elektrickém schématu tvořeným paralelně

zapojenými větvemi. Aktivní signál je simulován sepnutím spínače, které vyvolá průchod elektrického proudu příslušnou větví. Ten potom ovládá elektromagnet patřičného ventilu.

Kvůli názornější představě o souslednosti pohybů celého zařízení je průběžně odkazováno na krokový pohybový diagram na obr. 22.

Obr. 22 Krokový pohybový diagram zařízení



Fáze 1 – Zahájení činnosti

Zařízení je napájeno ze zdroje tlakového vzduchu. Pomocí jednotky pro úpravu vzduchu 0.1 je nastaven pracovní tlak v obvodu (0,6 MPa). Zapnutí se provede stiskem tlačítka ZAPNOU – dojde tím k otevření ventilu 0.2, zároveň se vysune motor 1.0 (A). Tím je cesta pro příjem výrobků uzavřená. Pro zahájení činnosti je ji třeba otevřít. To se provede stiskem tlačítka START – nastane přestavení ventilu 1.1, a přímočarý pneumotor 1.0 (A) se zasune (v diagramu na obr. 22 je tento pohyb znázorněn jako inicializační krok v úseku 0-1). Nyní je zařízení připraveno přijímat a třídit výrobky. Odpovídající stav pneumatického systému je zřetelně zobrazen v příloze 1.

Fáze 2 – Výrobek je pomocí válečkového dopravníku a gravitace dopraven před optické čidlo, pak přímočarým pneumotorem na váhu.

Aktivací optického čidla se v první řadě přestaví ventil 1.1 a motor 1.0 (A) se vysune. To z toho důvodu, že není řešená celá výrobní linka, ale pouze její část, takže je třeba cestu uzavírat, aby byly výrobky zpracovávány postupně. Proto má také motor 1.0 (A) na pístnici namontované zvláštní hradítko. Jdou-li výrobky v určitém odstupu, může se motor plně vysunout a přehradit cestu. Nastane-li naopak situace, kdy jdou dva výrobky bezprostředně za sebou, první postupuje dál a druhý je jemně přidržen mezi motorem 1.0 (A) a naháňkou, dokud není první výrobek zpracován.

Aktivuje-li výrobek optické čidlo S, zároveň je váha prázdná (K0 aktivní) a motor 3.0 (C) zasunutý, tak se otevřou rozváděcí ventily 2.2, 2.4, 2.6. Součinným ventilovým hradlem 2.8 projde pneumatický signál, který přestaví ventil 2.1. Pneumotor 2.0 (B) se vysune a přemístí výrobek na váhu. Jakmile motor 2.0 (B) dosáhne konečné polohy, aktivuje mechanickou narážku B1, která vrátí ventil 2.1 do původní polohy – tím se motor 2.0 (B) opět zasune. V diagramu na obr. 22 se jedná o úsek 1-3. Stav pneumatického systému při vysouvání pneumotoru 2.0 (B) je znázorněn v příloze 2.

Fáze 3 – Výrobku na váze je přiřazena hmotnostní kategorie, do které je posléze fyzicky zařazen. Zároveň probíhají přípravné kroky pro další cyklus.

Jelikož váha už není prázdná, výstupní modul deaktivuje signál K0 (EMPTY). Když vyhodnocovací obvod váhy určí, do jaké hmotnostní kategorie výrobek patří, aktivuje příslušný výstup modulu (K1, K2, K3, K4), tím dojde k přestavení jednoho z ventilů 5.2, 6.2. Pomocí součtových ventilových hradel 4.2, 4.3 a ventilů 4.1, 5.1, 6.1 se nastaví náležité polohy kyvných pneumotorů 4.0 (D), 5.0 (E), 6.0 (F). Vytvoří se tak dopravní trasa odpovídající příslušné kategorii. V diagramu pohybů na obr. 22 se jedná o úsek 3-4. Diagram je pro kyvné pneumotory kreslen neurčitě, protože jejich pohyb závisí na poloze nastavené

v předchozím cyklu a na aktuálně přiřazené hmotnostní kategorii. Výrobek je do patřičné kategorie zařazen vysunutím přímočarého pneumotoru 3.0 (C). Ovšem k tomu je nutné splnit dvě podmínky:

1. Motor 2.0 (B) musí být zasunutý. To je kontrolováno magnetickým snímačem polohy B0, který ovládá ventil 3.20.
2. Musí být ověřen fakt, že je polohami kyvných pneumotorů nastavena správná cesta. K tomu slouží mechanické narážky v krajních polohách D0, D1, E0, E1, F0, F1 (ale klidně by to mohli být třeba i magnetické snímače polohy), kterými jsou ovládané ventily 3.2, 3.4, 3.8, 3.10, 3.12, 3.16 – společně s využitím součtových ventilových hradel 3.6, 3.14, 3.18.

Když jsou obě podmínky splněny, může přes součtové ventilové hradlo 3.22 projít pneumatický signál a přestavit ventil 3.1, 1.1, tím zároveň vysunout motor 3.0 (C) a zasunout motor 1.0 (A). V diagramu na obr. 22 se jedná o úsek 4-5. Tento stav pneumatického systému je zřetelně znázorněn v příloze 3 (konkrétně pro výrobek spadající do hmotnostní kategorie 1). Po odsunutí výrobku je váha opět prázdná, takže výstupní modul deaktivuje signál aktuálně sepnutého výstupu (K1, K2, K3, K4) a znovu aktivuje signál EMPTY (K0).

Aby se mohl celý cyklus opakovat, musí se ještě zasunout motor 3.0 (C). To je realizováno mechanickou narážkou v koncové poloze C1, která přestaví ventil 3.1 nazpět. V diagramu pohybů na obr. 22 se jedná o úsek 5-6. Nyní může zařízení přijmout a třídit další výrobek. Tomuto stavu pneumatického systému odpovídá opět příloha 1 s tím rozdílem, že poslední dosažené polohy kyvných pneumotorů zůstávají zachovány.

Je důležité si uvědomit, že jde pouze o teoretický model. Před uvedením do praxe by se bezpochyby muselo zodpovědět spoustu dalších otázek. S největší pravděpodobností by zde hlavní roli sehrál právě charakter výrobků. V tomto modelu lze nastavením vhodné rychlosti příslušných pneumatických motorů dosáhnout šetrnější manipulace s výrobkem. Přesně pro tento účel jsou do obvodu zařazeny kombinace zpětných a škrticích ventilů 1.0.1, 2.0.1, 3.0.1.

8 Závěr

Ačkoliv je klasická pneumatika na ústupu, stále má své specifické uplatnění zakládající se na jednoduchosti a šetrnosti k okolnímu prostředí. Současný a pravděpodobně i budoucí vývoj pneumatických prvků pro automatizaci spočívá v efektivním spojení s elektronikou.

Velice si vážím toho, že jsem při zpracování této práce mohl navštívit firmu Festo a konzultovat s nimi možné přístupy k daným problémům. Největší potíž tkvěla v tom, skloubit poznatky uvedené ve starší literatuře s informacemi z mladších zdrojů – především technické dokumentace konkrétních výrobců. Hlavně v otázce využití pneumatiky byla stanoviska dosti odlišná, což není vzhledem k prudkému technologickému vývoji nikterak překvapující.

Vytyčil jsem si provést rozbor pneumatických prvků a představit jejich strukturu a využití. Nejambicióznějším počinem bylo na základě uvedených skutečností sestavit model pneumatického systému. Původním záměrem byla i fyzická realizace modelu, aby mohla být předvedena jeho funkce. Bohužel pro nedostatek součástí jsem se rozhodl pro alternativní řešení a činnost celého pneumatického systému alespoň modelovat na počítači. Díky velmi jednoduché, přesto však překvapivě příjemné a názorné formě simulace softwaru Festo FluidSIM, jsem toho dosáhl.

9 Seznam použité literatury

- [1] BENEŠ, Pavel. *Pneumatická ovládání*. Praha: ČVUT, 1991, 94 s. ISBN 80-010-0692-1.
- [2] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika*. Brno: CP Books, 2005, 280 s. ISBN 80-251-0795-7.
- [3] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy: Díl 1 - Pneumatické prvky a systémy*. 2. vyd. Ostrava: VŠB, 2005, 265 s. ISBN 978-80-248-0879-6
- [4] KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy: Díl 2 - Řízení pneumatických systémů*. Ostrava: VŠB, 1997, 88 s. ISBN 80-707-8498-9.
- [5] LIŠKA, Antonín a Pavel NOVÁK. *Technika stlačeného vzduchu*. Praha: ČVUT, 1996, 197 s. ISBN 80-010-1430-4.
- [6] PEŇÁZ, Václav a Dušan BENŽA. *Tekutinnové mechanismy*. Brno: VUT Brno, 1990, 211 s. ISBN 80-214-0082-X.
- [7] PIVOŇKA, Josef. *Tekutinnové mechanismy*. Praha: SNTL, 1987.
- [8] *Úvod do pneumatiky: učebnice FESTO Didactic*. Překlad Antonín Mykiska, Pavel Beneš. Praha: ČVUT, 1989, 197 s. ISBN 80-010-0042-7.
- [9] TALÁCKO, Jaroslav. Vývoj pneumatických prvků a mechanismů. *Automa* [online]. Praha: FCC Public, 2000, č. 10 [cit. 2012-03-22]. ISSN 1210-9592. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27904
- [10] TALÁCKO, Jaroslav. Pneumatické a hydraulické systémy pro automatizaci. *Automa* [online]. Praha: FCC Public, 2002, č. 1 [cit. 2012-03-23]. ISSN 1210-9592. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28302
- [11] Pneumatika je nedílnou součástí automatizace. *Automa* [online]. Praha: FCC Public, 2006, č. 1 [cit. 2012-03-23]. ISSN 1210-9592. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30876

- [12] Jaké místo má hydraulika a pneumatika v moderní automatizaci?.
Automa [online]. Praha: FCC Public, 2008, č. 10 [cit. 2012-03-22].
ISSN 1210-9592. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37949

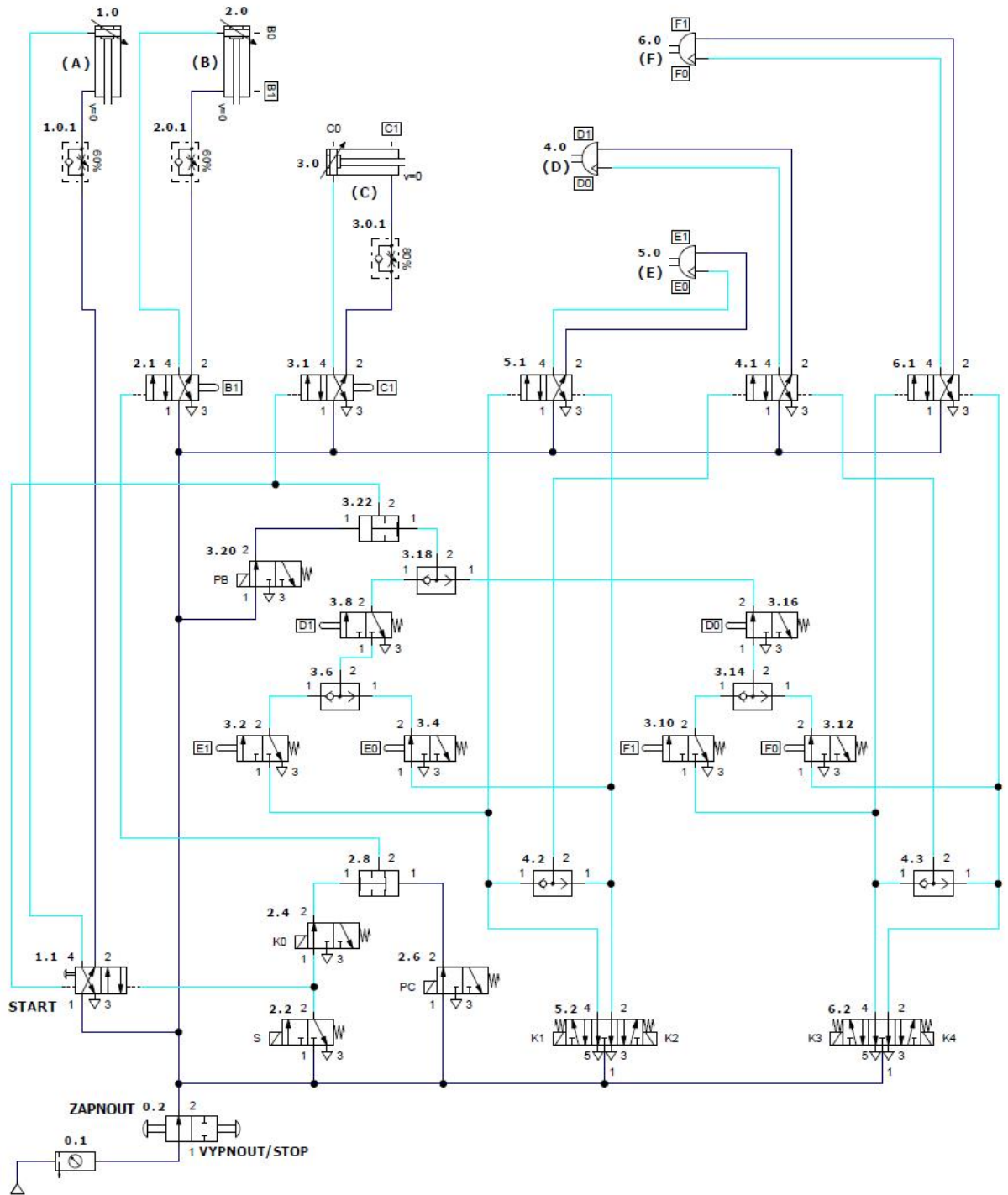
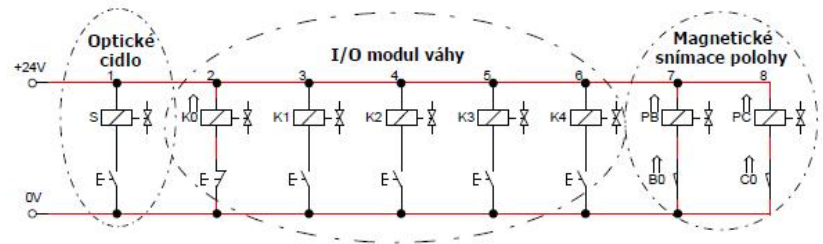
10 Seznam obrázků

Obr. 1	Výroba a distribuce stlačeného vzduchu	str. 7
Obr. 2	Nástrčné šroubení	str. 10
Obr. 3	Dvojčinný pístový pneumatický motor	str. 12
Obr. 4	Křídlový pneumatický motor pro kyvný pohyb	str. 13
Obr. 5	Elektricky ovládaný impulzní 4/2 ventil	str. 15
Obr. 6	Schéma řízení pneumatických systémů	str. 17
Obr. 7	Značení vstupů a výstupů ventilů dle normy ISO 5599	str. 19
Obr. 8	Ventil 3/2 ovládaný nárazkou	str. 21
Obr. 9	Ventil 3/2 přímo ovládaný kladkou	str. 22
Obr. 10	Ventil 3/2 nepřímo ovládaný kladkou	str. 22
Obr. 11	Pneumaticky ovládaný 3/2 ventil	str. 23
Obr. 12	Ventil 3/2 s přímým elektrickým ovládním	str. 24
Obr. 13	Pneumaticky ovládaný 4/2 ventil	str. 25
Obr. 14	Pneumaticky ovládaný 5/4 ventil	str. 26
Obr. 15	Součtové ventilové hradlo	str. 27
Obr. 16	Součtinové ventilové hradlo	str. 28
Obr. 17	Zpoždovací ventil – časový spínač	str. 29
Obr. 18	Vakuová technika	str. 31
Obr. 19	Dojící robot Lely Astronaut	str. 32
Obr. 20	Automatické třídící zařízení – pohled shora	str. 33
Obr. 21	Automatické třídící zařízení – řez A-A	str. 34
Obr. 22	Krokový pohybový diagram zařízení	str. 36

11 Přílohy

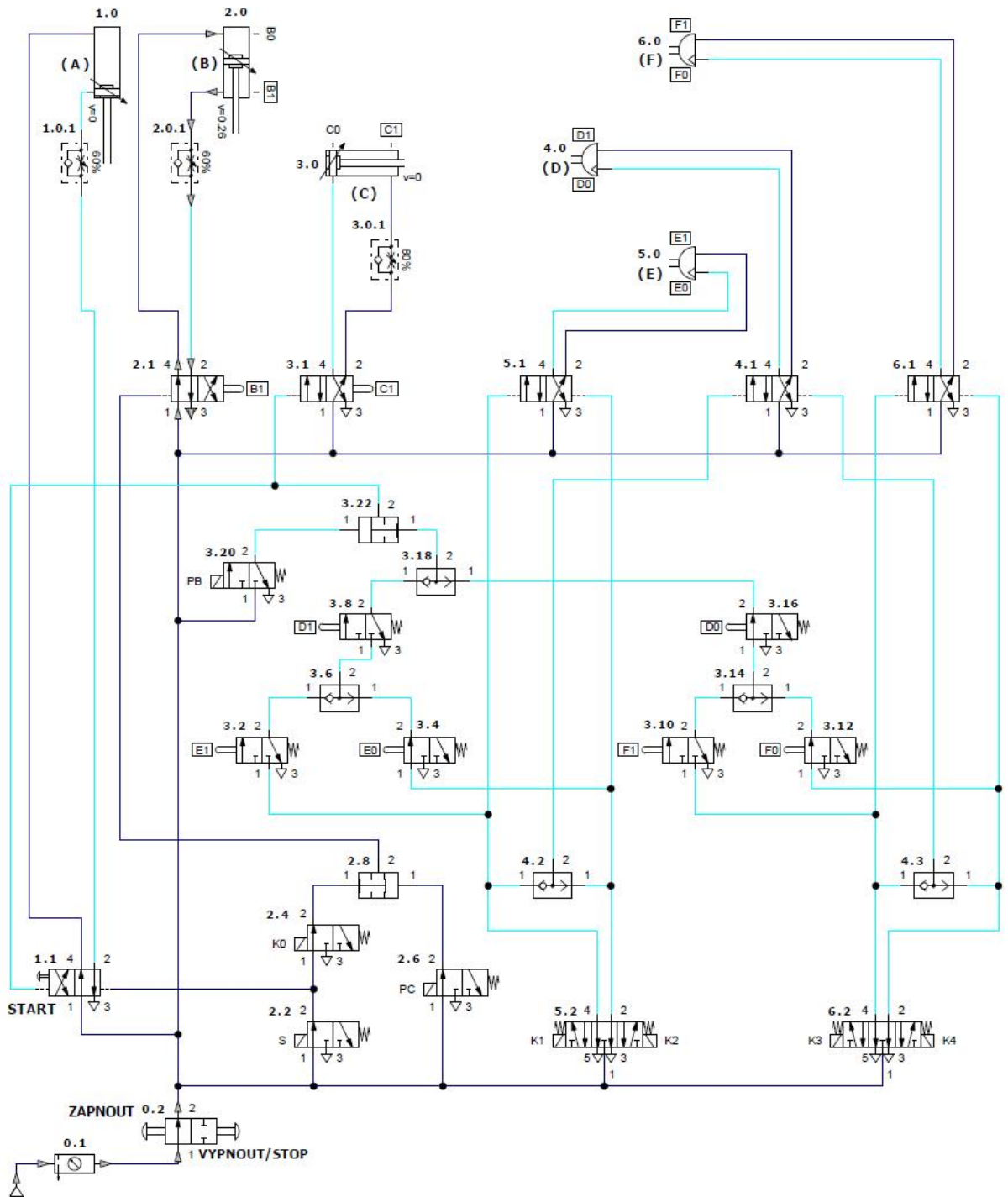
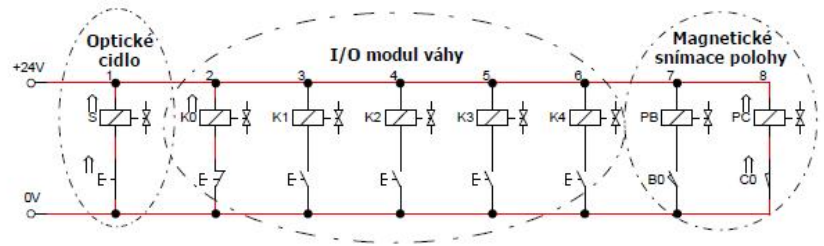
Příloha 1

Stav pneumatického systému ve fázi 1



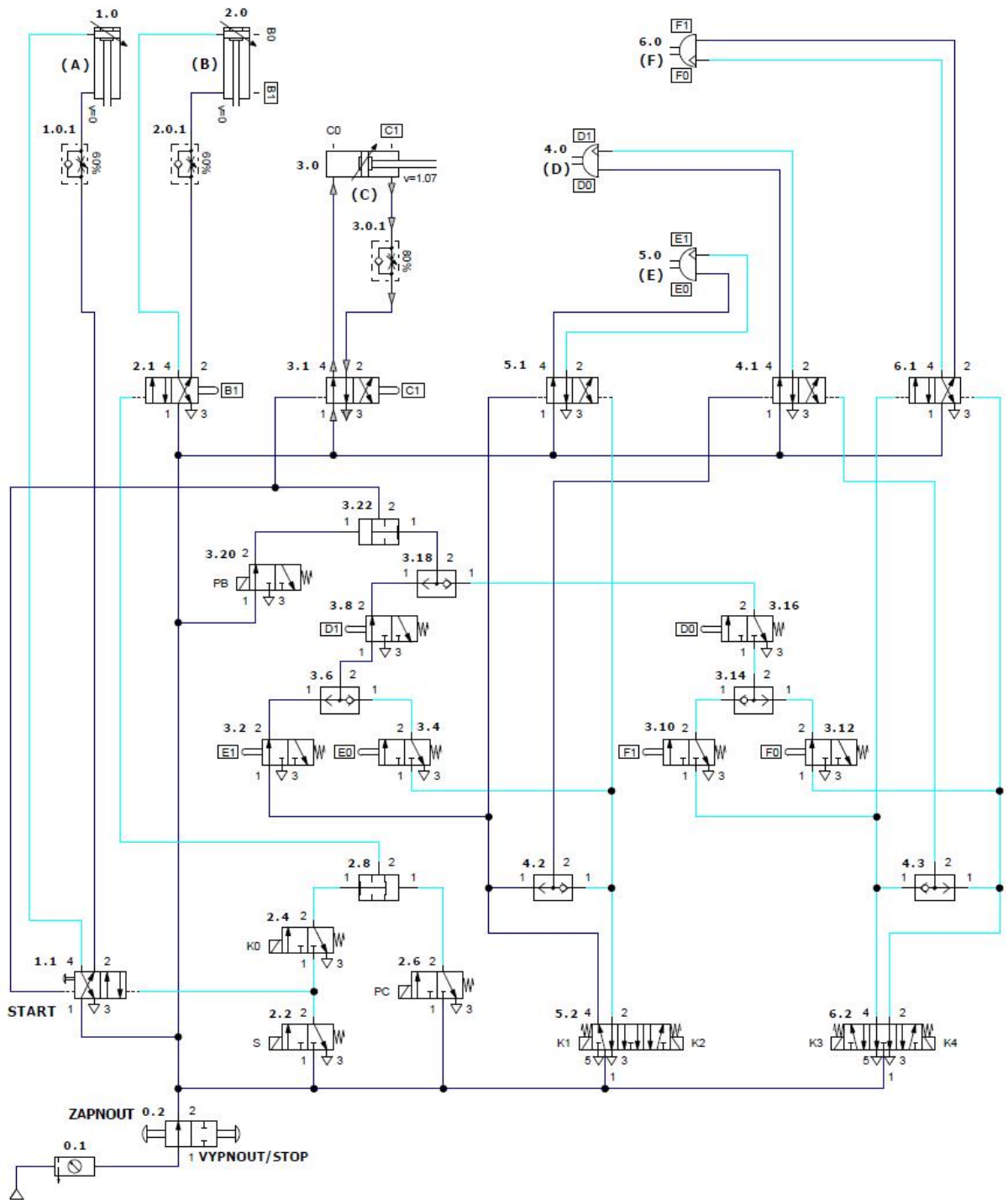
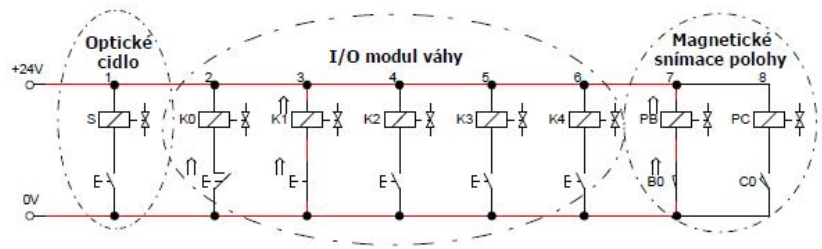
Příloha 2

Stav pneumatického systému ve fázi 2



Příloha 3

Stav pneumatického systému ve fázi 3



Příloha 4

Pneumatické schéma automatického třídícího zařízení

