

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení



Návrh pneumatického pohonu otevírání dveří
osobního vagónu

Design of a Pneumatic Actuator for Door Opening of
Railway Passenger Wagon

Autor:

Bc. Miroslav Krajča

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student:	Bc. Miroslav Krajča
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	2302T043 Hydraulika a pneumatika
Téma:	Návrh pneumatického pohonu otvírání dveří osobního vagónu Design of a Pneumatic Actuator for Door Opening of Railway Passenger Wagon
Jazyk vypracování:	čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte pneumatický obvod pro ovládání dveří osobního vagónu ve dvou variantách – pneumatické ovládání a elektropneumatické ovládání.

Provozní podmínky: teplota okolí -25°C až $+60^{\circ}\text{C}$, pracovní tlak: 4 až 8 bar, suchý nemazaný vzduch, filtrovaný ($<30\ \mu\text{m}$), max. vlhkost do 100%.

Pracovní zdvih $965\ \text{mm} \pm 2,5\ \text{mm}$, uchycení válce oko-oko, pracovní síla při otevření/zavření 300 N pro celý rozsah pracovních tlaků, pracovní rychlost 0,5 m/s.

V případě, že pohon narazí na překážku, musí ihned zastavit a vykonat reverzní pohyb – automaticky dojet do výchozí polohy a být připraven znovu k vykonání funkce zavření.

Vypracujte:

1. Rešerši k dané problematice.
2. Navrhněte pneumatický systém a specifikujte prvky z výrobního programu Parker-Hannifin.
3. Navrhněte elektro-pneumatický systém a specifikujte prvky z výrobního programu Parker-Hannifin.
4. Prakticky ověřte funkci systémů sestavených z vybraných prvků.
5. Návrh alternativního elektromechanického pohonu (pouze aktuátor).

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.

BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.

DOSTÁL, J.; HELLER, P. *Kolejová vozidla I*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007. 119 s. ISBN 978-80-7043-520-5.

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

Katalogy a podklady firmy Parker Hannifin.

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Jakuba

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

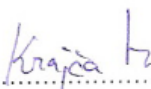
V Ostravě 16. 5. 2016

.....Krajský.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16. 5. 2016



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Miroslav Krajča

Adresa trvalého pobytu autora práce: Trňák 983/3, Ostrava – Stará Bělá, 72400

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D za poskytnuté konzultace při vypracovávání této práce, za cenné rady, připomínky a vstřícný přístup.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KRAJČA, M. *Návrh pneumatického pohonu otvírání dveří osobního vagónu : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydrauliky a hydraulických zařízení, 2016, 87 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Diplomová práce se věnuje především návrhu pneumatického a elektropneumatického ovládacího systému dveří osobních vagónů vlaků. Úvodem je zpracována rešerše popisující konstrukční řešení dveřních systémů používající se v soudobých osobních vlacích. Rešerše zahrnuje taktéž souhrn bezpečnostních požadavků daných normou ČSN EN 14752. Návrhy variant řešení, ať už pneumatických či elektropneumatických, jsou doplněny popisem funkce a specifikací použitých prvků. Závěrečnou část tvoří návrh alternativního elektromechanického pohonu dveří. Součástí práce je i vyhodnocení praktického měření při ověřování funkce navrženého pneumatického systému. Výsledky z provedených měření spolu s video a fotodokumentací a výkresovou dokumentací navrženého pneumatického systému jsou k dispozici v příloze.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KRAJČA, M. *Design of a Pneumatic Actuator for Door Opening of Railway Passenger Wagon : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2016, 87 p. Thesis head: Dvořák, L.

Master thesis is dealing especially design of pneumatic and electropneumatic control system for passenger train doors. Introduction processes research describing design solutions of door systems with current passenger trains. Research also includes a summary of the safety requirements from norm ČSN EN 14752. Designs of alternative solutions, whether pneumatic or electropneumatic, are accompanied by a description of features and specifications of used elements. The final part is the design of alternative electromechanical drive door. The work also includes evaluation of practical measurements during verifying the operation of the proposed pneumatic system. The results from the measurements with video and photographs and drawings designed pneumatic system are available in the annex.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	11
1. Úvod	13
2. Analýza konstrukčního řešení dveřních systémů vlaků.....	14
2.1 Rozdělení dveřních systémů podle umístění	14
2.1.1 Vnější (vstupní)	14
2.1.2 Vnitřní (interiérové)	15
2.1.3 Čelní (mezivozové)	15
2.1.4 Dveře řídicí kabiny	15
2.2 Rozdělení dveřních systémů podle způsobu otevírání.....	16
2.2.1 Posuvné dveře	16
2.2.2 Předsuvné dveře.....	19
2.3 Rozdělení dveří podle způsobu ovládnání	22
2.3.1 Ručně ovládané	22
2.3.2 Poloautomatické	22
2.3.3 Automatické	22
2.4 Konstrukční součásti pohonu dveřních systémů a jeho příslušenství.....	23
2.4.1 Motor	23
2.4.2 Řídicí systém	27
2.4.3 Snímače a senzory	29
3. Bezpečnostní požadavky na dveřní systémy vlaků.....	33
3.1 Termíny a definice	33
3.2 Konstrukční požadavky	33
3.2.1 Konstrukce dveřního otvoru – Minimální šířka.....	33
3.2.2 Mechanická pevnost dveří	34
3.2.3 Zařízení pro nouzový vstup a výstup.....	34
3.2.4 Elektrické a pneumatické napájení.....	34
3.2.5 Elektronická zařízení.....	34
3.2.6 Ochrana před nebezpečím.....	35
3.3 Provozní požadavky	35

3.3.1 Ovládání dveří.....	35
3.3.2 Podmínky pro zavírání dveří	36
3.3.3 Podmínky pro otevírání dveří	38
3.3.4 Nouzový provoz	39
4. Vypracování variant řešení ovládacího systému dveří.....	40
4.1 Návrh variant pneumatického systému pohonu dveří	41
Varianta 1 – provedení se čtyřmi tlačítky.....	41
Varianta 2 – provedení se dvěma tlačítky	46
Varianta 3.1 – automatické zavírání dveří	47
Varianta 3.2 – systém s mechanickým zámkem.....	49
Varianta 4 – řešení s bezkontaktními snímači polohy válce.....	50
4.2. Návrh hlavních pneumatických prvků obvodu	52
Pneumatický válec.....	52
Pneumatické vedení silového obvodu	57
Hlavní rozváděč 1.1	58
Škrticí ventil s obtokem	58
Bezpečnostní ventil.....	59
Jednotka pro úpravu vzduchu (filtr, regulátor)	59
Pneumatické vedení pro úsek mezi BV a rozváděčem 1.1	60
Šroubení	60
4.3 Kontrola průtokové propustnosti silového obvodu systému.....	62
4.4 Specifikace ostatních pneumatických prvků obvodu	63
Tlačítko 1.4, 1.5	63
Koncové spínače	63
Ventil 1.8, 1.14 a 1.21	64
Ventil nouzového otevírání dveří (1.6)	64
Pneumatické vedení řídicího obvodu	64
Blokovací ventil 1.12 a 1.19	65
Logický ventil OR.....	65
Logický ventil AND.....	65

Pneumatické časové relé	66
Snímač tlaku ST	66
Tlakový spínač detekce překážky	67
4.5 Ověření funkce pneumatické varianty 3.1	67
Výsledky z provedeného měření:	71
4.6 Návrh variant elektropneumatického systému pohonu dveří	75
Varianta 1	75
Varianta 2	77
Specifikace prvků elektropneumatického systému varianty 2	78
5. Návrh alternativního elektromechanického pohonu dveří	79
6. Závěr	80
Seznam použitých zdrojů informací	82
Seznam příloh	87

Seznam použitých značek a symbolů

<i>Symbol</i>	<i>Význam</i>	<i>Jednotky</i>
a	Zrychlení	[m/s ²]
a_R	Součinitel pro výpočet pasivních odporů těsnění	[1]
b	Kritický poměr tlaků	[1]
c	Zvuková vodivost	[NI/(s.bar)]
C_v	Průtokový součinitel	[1]
D	Průměr pístu	[mm]
d	Průměr pístnice	[mm]
D_s	Průměr pístu diferenčního tlakového snímače	[mm]
d_s	Průměr pístnice diferenčního tlakového snímače	[mm]
F_1	Síla od tlaku ze strany pístu	[N]
F_2	Síla od tlaku ze strany pístnice	[N]
F_r	Rozběhová síla	[N]
h	Pracovní zdvih válce	[mm]
m	Hmotnost	[kg]
M_k	Krouticí moment	[N.m]
$M_{kt,el}$	Teoretický krouticí moment elektromotoru	[N.m]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
n_{el}	Otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]
p	Tlak	[MPa]
p_1	Tlak z prostoru pístu pneumomotoru	[MPa]
p_2	Tlak z prostoru pístnice pneumomotoru	[MPa]
$p_N = p_{atm}$	Tlak při normálních podmínkách – atmosférický tlak	[kPa]
Δp	Tlaková diference mezi komorami pneumomotoru	[MPa]
Δp_s	Tlaková diference mezi komorami diferenčního tlakového snímače	[MPa]
P_{mech}	Mechanický výkon	[W]
P_t	Teoretický výkon	[W]
R_0	Síla pasivních odporů od těsnění	[N]
s	Dráha	[mm]
S_1	Plocha pístu pneumatického válce	[m ²]
S_2	Plocha mezikruží pneumatického válce	[m ²]
S_{1s}	Plocha pístu diferenčního tlakového snímače	[m ²]
S_{2s}	Plocha mezikruží diferenčního tlakového snímače	[m ²]
t	Čas	[s]
T_N	Teplota při normálních podmínkách	[K]

F_z	Zatěžující síla, síla od zátěže	[N]
v	Rychlost	[m/s]
Q_{1N}	Průtok vzduchu za normálních podmínek	[Nm ³ /s]
Q_{max}	Maximální průtok	[dm ³ /min]
Q_n	Jmenovitý průtok	[dm ³ /min]
$Q_{N,BV}$	Normálový průtok vzduchu bezpečnostním ventilem	[Ndm ³ /min]
$Q_{N,ekv}$	Ekvivalentní průtok vzduchu obvodem	[Ndm ³ /min]
$Q_{N,H}$	Normálový průtok vzduchu hadicí	[Ndm ³ /min]
$Q_{N,JUV}$	Normálový průtok vzduchu jednotkou pro úpravu vzduchu	[Ndm ³ /min]
$Q_{N,R}$	Normálový průtok vzduchu rozváděčem	[Ndm ³ /min]
$Q_{N,ŠV}$	Normálový průtok vzduchu škrticím ventilem	[Ndm ³ /min]
$Q_{N,ŠR}$	Normálový průtok vzduchu šroubením	[Ndm ³ /min]
Q_{PM1}	Průtok vzduchu k pneumomotoru do prostoru ze strany pístu	[m ³ /s]
$Q_{PM1N,min}$	Normálový průtok vzduchu k pneumomotoru při minimální teplotě	[Ndm ³ /min]
$Q_{PM1N,max}$	Normálový průtok vzduchu k pneumomotoru při maximální teplotě	[Ndm ³ /min]
π	Ludolfovo číslo	[1]
ω	Úhlová rychlost	[s ⁻¹]

1. Úvod

Na základě zadání od firmy Parker Hannifin byla vytvořena tato diplomová práce, jejímž předmětem je návrh pneumatického pohonu pro otevírání (zavírání) dveří u osobních vozů vlaků regionální dopravy.

Dveře, resp. dveřní otvor, dopravních prostředků hromadné přepravy osob slouží pro přechod osob z jednoho prostoru do druhého, přičemž musí splňovat zvláštní bezpečnostní požadavky dané EN14752:2015, TSI PRM, TSI LOC&PAS, UIC 560.

V dřívějších dobách byly dveře dopravních prostředků jednoduché konstrukce ovládané ručně. S rozvojem vědy a techniky, zvláště automatizace, informačních technologií, materiálového inženýrství a dalších vědních oborů, se dveře dopravních prostředků staly sofistikovanější, automatizovanější. Z toho důvodu se dnes již tyto propracované konstrukční celky nazývají automatizované dveřní systémy.

Jak již název napovídá, automatizované dveřní systémy, bývají opatřené různými signalizačními, snímacími a řídicími zařízeními. To umožňuje nejen větší komfort pro uživatele, ale také zajišťují větší bezpečnost.

Typů dveřních systémů dopravních prostředků hromadné přepravy osob existuje v dnešní době velké množství. Rozdělují se například podle jejich způsobu otevírání, podle umístění, podle počtu dveřních křídel anebo podle způsobu ovládní.

Tato práce, se bude zabývat pouze dveřmi, které se používají u současných osobních vozidel vlaků meziměstské dopravy, neboť jak bylo stanoveno v zadání diplomové práce, cílem je návrh dveřního pohonu pro osobní vlaky meziměstské dopravy. Mohou se však objevit i zmínky o konstrukcích dveřních systémů používaných v tramvajových vozech nebo autobusech.

2. Analýza konstrukčního řešení dveřních systémů vlaků

Kapitola zpracovává obecný přehled dveřních systémů, které se v soudobých osobních vlacích nejčastěji vyskytují.

2.1 Rozdělení dveřních systémů podle umístění

2.1.1 Vnější (vstupní)

Vnější dveře slouží pro přechod (nástup a výstup) cestujících mezi venkovním prostředím, což je zpravidla nástupiště, či zastávka, a vnitřním prostorem vozidla. Umístění těchto dveří je zpravidla vždy na boční stěně vagónu.

Na tyto dveřní systémy jsou kladeny obzvláště vysoké nároky na bezpečnost. Během jízdy vozidla na dveře působí nejen vysoké dynamické zatížení, ale i různé klimatické a povětrnostní vlivy. Nesmí se tedy stát, aby se dveřní křídla, při působení těchto vlivů, nějak poškodila nebo dokonce během jízdy otevřela. Proto je konstrukce těchto dveřních systémů zhotovena tak, aby zajišťovala potřebné pevnostní a bezpečnostní požadavky spolu s vysokou spolehlivostí.

U modernějších typů vlaků, které jezdí na frekventovaných linkách v oblastech s vysokou mírou cestovního ruchu, bývají vstupní dveře v provedení dvoukřídlovém. Jednokřídlové vstupní dveře se vyskytují především u dálkových osobních vlaků, kde není nastupování a vystupování osob příliš frekventované.



Obr. 2.1 Vstupní dveře – jednokřídlové [24]



Obr. 2.2 Osobní vlak se vstupními dveřmi dvoukřídlovými [26]

2.1.2 Vnitřní (interiérové)

Oddělují jednotlivé vnitřní prostory vozidla např. kupé, toalety, chodbu.

Konstrukce vnitřních dveří bývá jednoduchá a lehká, na rozdíl od dveří vstupních. To je dáno snahou o co největší úsporu místa a snadnost otevírání.

V převážné části bývají tyto dveře ručně otevíratelné, ale vyskytují se i v poloautomatickém provedení.



Obr. 2.3 Dveře vnitřní [25]

2.1.3 Čelní (mezivozové)

Jak je z názvu zřejmé, lokace těchto dveří bývá na čelních stěnách vagónu. Účelem čelních dveří je umožnění bezpečného přechodu osob mezi jednotlivými vagóny vlaku během jízdy. V případě konstrukčního provedení se dá hovořit o jakémsi mezistupni mezi vnějšími a vnitřními dveřmi. Vyskytují se v provedení jak jednokřídlovém, tak i dvoukřídlovém.



Obr. 2.4 Čelní dveře jednokřídlové [21]



Obr. 2.5 Čelní dveře dvoukřídlové [27]

2.1.4 Dveře řídicí kabiny

Jedná se o zvláštní typ dveří, které jsou určeny pro nástup a výstup strojvedoucího do/z řídicí kabiny vlaku. Mohou být v provedení vnějším nebo vnitřním. Podle toho pak, slouží pro oddělení kabiny řidiče, buď od prostoru pro cestující, nebo od venkovního prostředí. S umístěním těchto dveří také souvisí jejich konstrukce a požadavky na pevnost a bezpečnost.



Obr. 2.6 Dveře řídicí kabiny [29]

2.2 Rozdělení dveřních systémů podle způsobu otevírání

2.2.1 Posuvné dveře

Jedná se o dveře, posouvající se buď po boku (vnější konstrukci) vozidla nebo zasouvající se do stěny vozidla. Otevírání a zavírání je realizováno pouze přímočarým pohybem dveří. Dveřní křídlo je uchyceno ke kladkám, které se pohybují po pojezdových sáních.

Výhodou posuvných dveří je odsun dveřních křídel zcela mimo průchozí prostor, což je přínosné pro rychlejší přechod velkého počtu cestujících. Konstrukce pohybového mechanismu dveří je jednodušší, neboť otevření či uzavření dveří vyžaduje pouze přímočarý pohyb.

Nevýhodou tohoto dveřního systému je, že křídla dveří se posouvají těsně před vnějším povrchem boční stěny vagonu. Vyčnívají tak z obrysu vozidla a je obtížné utěsnit spáry mezi dveřmi a pláštěm vozidla proti vnikání proudu vzduchu a nečistot. Tím, že jsou dveřní křídla umístěny mimo rovinu boční stěny vagonu, proud vzduchu při jízdě naráží na boky dveří a zvyšuje tak dynamické zatížení dveří. Při provozu v zimním období je důležité, aby bylo zabráněno namrznání kolejnice, po které se dveře pohybují. To by mohlo způsobit horší pohyblivost, což je velmi nežádoucí.



Obr. 2.7 Posuvné dveře posouvající se po stěně vozidla a zasouvající se do stěny vozidla [30]

Tyto nevýhody částečně odstraňuje dveřní systém zasouvající se do stěny vozidla, neboť je zamezeno, jednak působení proudu vzduchu na vyčnívající dveřní křídla, namrznání kolejnice, ale také vnikání proudu vzduchu do interiéru vozidla. Ovšem prach a nečistoty mohou vnikat do stěny vozidla a způsobit tak drhnutí, popřípadě zadření dveřních křídel. Za nevýhodu se dá také považovat nutnost dostatečné tloušťky stěny pro zasouvající se dveřní křídla.

Pohybový mechanismus dvoukřídlových posuvných dveří

Jak již bylo zmíněno, otevírání a zavírání posuvných dveří je realizováno pouze přímočarým posuvným pohybem dveřních křídel do stran.

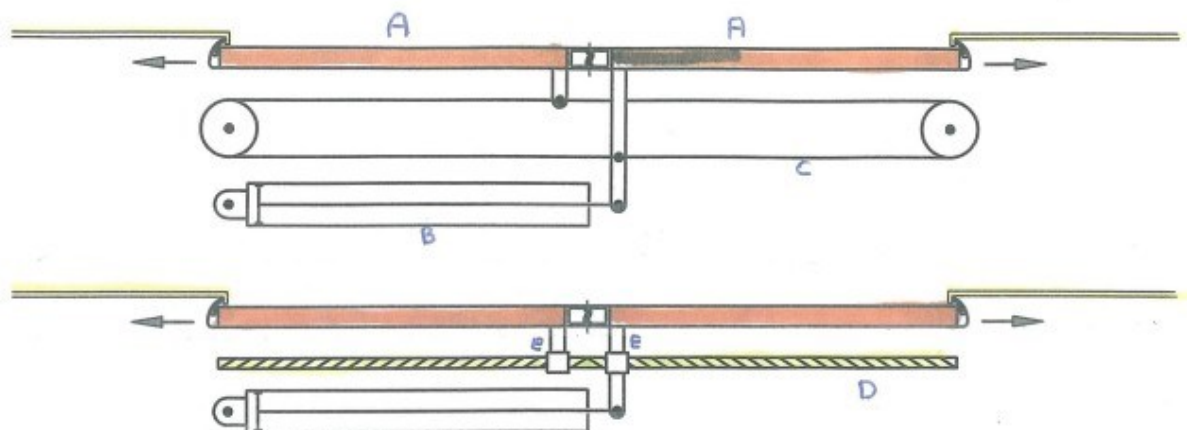
Dveřní křídlo je namontováno na pojezdových saních s kladkami, které vedou křídlo ve vodící liště upevněné na portálu. Pomocí excentrických čepů a kladek je možné polohu dveřních křídel seřizovat.

Posun dveřních křídel zajišťuje pohon, který může být v provedení pneumatickém – pomocí pneumatického válce nebo elektrickém – pomocí elektromotoru.

Princip funkce pohybového mechanismu posuvných dveří poháněných pneumaticky:

Jak je uvedeno v literatuře [20], pístnice pneumatického válce (B) je pevnou vazbou (unášečem) spojena s jedním, tzv. „primárním“ dveřním křídlem. Zároveň jsou obě dveřní křídla (A) přes unášeče přichycena k synchronizačnímu mechanismu, pomocí kterého je zajištěn synchronní pohyb obou dveřních křídel. Synchronizační mechanismus tedy převádí posun pístu pneumomotoru na souměrně opačný posuvný pohyb dveří.

Synchronizačním mechanismem může být buďto pás nebo ozubený řemen (C) napnutý mezi dvěma řemenicemi nebo pohybový šroub se souměrně vysoustruženým levotočivým a pravotočivým závitem (D) a posuvnými maticemi (E).



Obr. 2.8 Funkční schéma pohybových mechanismů pneumaticky poháněných posuvných dveří [20]

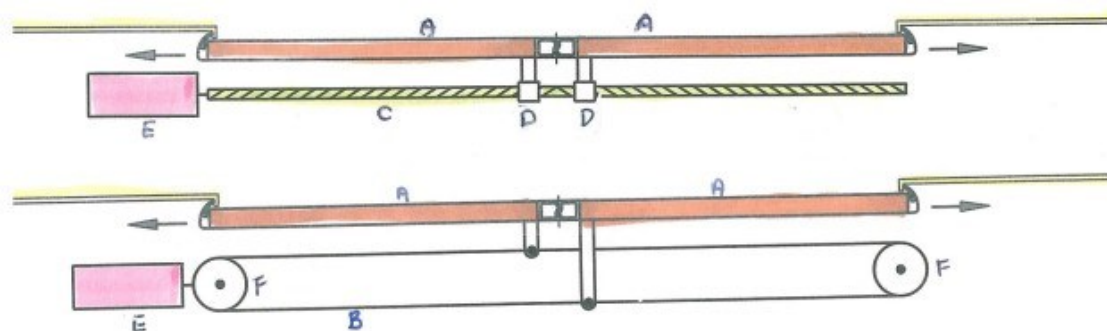
A – dveřní křídla, B – pneumatický válec, C – synchronizační pás (řemen) s řemenicemi, D – synchronizační pohybový šroub (osa, včetně), E – matice pohybového šroubu

Princip funkce pohybového mechanismu posuvných dveří poháněných elektricky:

Posuvný pohyb dveřních křídel (A) je realizován stejnosměrným elektromotorem (E), jehož hřídel je propojena se synchronizačním mechanismem.

V případě použití synchronizačního pohybového šroubu (C), rotační pohyb od hřídele elektromotoru je převáděn na posuvný skrze dvě matice (D) pohybující se po pohybovém šroubu, jejichž směr pohybu je dán směrem otáčení šroubu. Tyto matice jsou pomocí unášeců pevně spojeny s jednotlivými dveřními křídly.

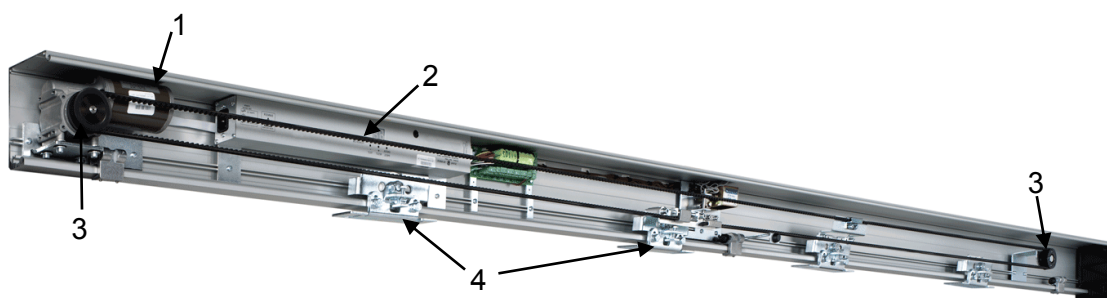
U použití pásového synchronizačního mechanismu, elektromotor (E) pohání jednu ze dvou řemenic (F), mezi kterými je napnut pás nebo ozubený řemen (B), ke kterému jsou přichyceny unášče dveřních křídel, jak je znázorněno na Obr. 2.9 z literatury [20].



Obr. 2.9 Funkční schéma pohybových mechanismů elektricky poháněných posuvných dveří [20]

A – dveřní křídla, B – synchronizační pás (řemen), C – synchronizační pohybový šroub, E – elektromotor, F - řemenice

Příklad reálného provedení otevíracího mechanismu posuvných dveří poháněných elektricky, od firmy EDS [31].



Obr. 2.10 Reálné provedení pohybového mechanismu posuvných dveří [31]

1 – stejnosměrný elektromotor, 2 – synchronizační pás (ozubený řemen), 3 – řemenice, 4 – pojezdové sáně s kladkami

2.2.2 Předsuvné dveře

Vyznačují se předsuvným pohybem dveřních křídel, mimo obrys boku vozidla. Předsuvný pohyb může být realizován buď pomocí pákového mechanismu, nebo tvarovanou vodící lištou.

Tento systém zcela odstraňuje některé nevýhody posuvných dveří, jelikož předsuvným mechanismem je umožněno zasunutí dveřního křídla do roviny boční stěny vozu. Proudící vzduch tedy při jízdě kopíruje plášť stěny a nevniká spolu s nečistotami do interiéru vozidla. Zasunutí dveřních křídel do roviny boční stěny vozidla má výhodu i v tom, že při jízdě dveře nekladou okolnímu vzduchu žádný odpor a jsou tedy i méně aerodynamicky zatížené. Také vodící sáně, po kterých se dveře posouvají, jsou zasunuté v interiéru vozidla a v zimním období tedy nehrozí jejich namrzání.

Při otevírání dveří je nutné brát ohled na to, aby v těsné blízkosti před dveřními křídly se nevyskytovaly žádné předměty, které by mohly způsobit blokování dveří, jako například vysoko položený patník nástupiště.



Obr. 2.11 Předsuvné dveře jednokřídlové [6]

Pohybové mechanismy předsuvných dveří

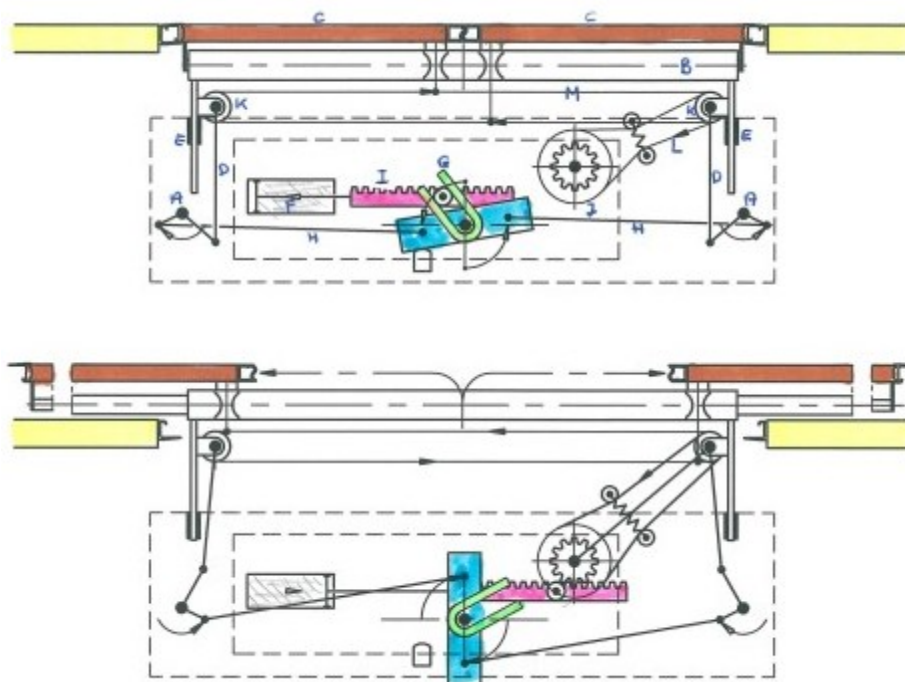
Pákový mechanismus poháněný pneumaticky:

Vysouváním pístnice pneumatického válce (F), ke které je připevněn ozubený hřeben s jezdcem (čepem) kulisového mechanismu (I), nejprve dochází k rotaci kulisového mechanismu (G). Po vysunutí pístnice válce zhruba do poloviny zdvihu najede ozubený hřeben na ozubené kolo (J), jenž slouží pro přenos hnací síly na synchronizační mechanismus.

Kulisový mechanismus s ramenem (A) a táhly (D, H) tvoří pákový mechanismus, jehož funkcí je převod posuvného pohybu pístnice pneumomotoru na předsuvný pohyb dveřních křídel (C) spolu s teleskopickou kolejnicí dveří (B) a synchronizačním mechanismem. Synchronizační mechanismus zajišťuje posuv dveřních křídel do stran, tedy jejich otevření.

Aby bylo možné předsunutí, jsou kolejnice dveří a synchronizační mechanismus uloženy na pojezdových lištách (E).

Synchronizační mechanismus je tvořen ozubeným řemenem (M) posouvajícím přes unášče dveřní křídla, který je napnut mezi dvěma řemenicemi (K). Jedna z těchto řemenic je přes druhý ozubený řemenem (L), poháněná otáčením řemenice uložené na jedné hřídeli spolu s ozubeným kolem (J). Napínání řemene L zajišťují dvě kladičky spojené pružinou.



Obr. 2.12 Funkční schéma pohybového mechanismu předsuvných dveří poháněných pneumaticky [20]

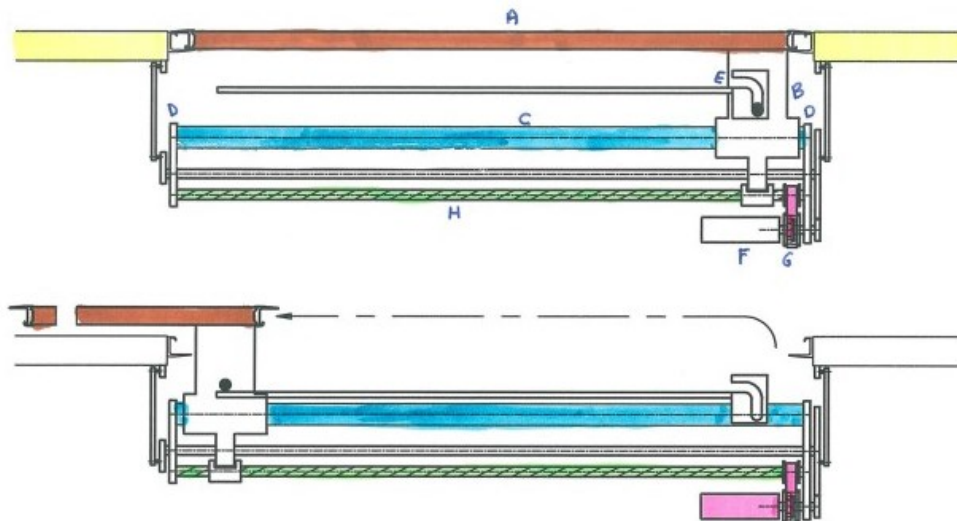
A – rameno pákového mechanismu, B – teleskopická kolejnice dveřních křídel, C – dveřní křídla, D, H – táhla pákového mechanismu, E – pojezdové lišty pro předsun dveří, F – pneumatický válec, G – kulisový mechanismus, I – ozubený hřeben, J – řemenice a ozubené kolo, K – řemenice, L, M – ozubené řemeny (pásy)

Mechanismus s tvarovanou vodící lištou poháněný elektricky

Pohyb dveří zajišťuje stejnosměrný elektromotor (F), jehož hřídel je napojena na planetovou převodovku (G). Výstupní krouticí moment z planetové převodovky je dále přenášen buď na ozubený segment (7), zabezpečující posun dveřních nosníků (D) a tím i předsunutí dveřního křídla (A), nebo na pohybový šroub (H) vykonávající posuvný pohyb dveří do strany. Planetová převodovka má tedy dva pohyblivé výstupy – korunové kolo a výstupní hřídel napojenou na unášče satelitů. To, který z nich má být v pohybu určuje jezdec tvarované vodící lišty (E), a to tak, že pokud má jezdec volnost pohybu ve směru předsouvání dveří, výstupní hřídel planetové převodovky je uvolněna a korunové kolo zablokováno. V opačném případě, kdy se jezdec ve tvarované vodící liště může volně

pohybovat ve směru vysouvání dveří do boku, je zablokována výstupní hřídel převodovky a korunové kolo přenáší točivý moment přes ozubený řemen (6) na pohybový šroub.

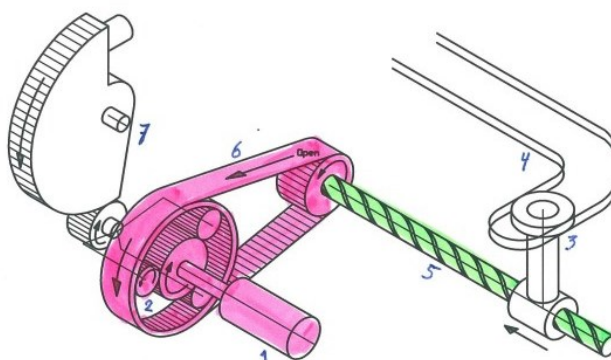
Jezdec tvarované vodící lišty je spolu s maticí pohybového šroubu součástí unášeče dveřního křídla (B). Tento unášeč, přenášející celou hmotnost dveří, je veden v trubkovém vedení (C), uloženém na dveřních nosnících.



Obr. 2.13 Funkční schéma pohybového mechanismu předsvuných dveří poháněných elektromotorem [20]

A – dveřní křídlo, B – unášeč dveřního křídla, C – trubkové vedení, D – dveřní nosníky s lineárním vedením, E – tvarovaná vodící lišta, F – elektromotor, G – převodový mechanismus, H – pohybový šroub

Principu přenosu rotačního pohybu hřídele elektromotoru na předsvuný a posuvný pohyb dveří je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 2.14 Princip přenosu hnacího momentu u předsvuných dveří poháněných elektromotorem [20]

1 – elektromotor, 2 – planetová převodovka, 3 – matice pohybového šroubu spolu s jezdcem vodící lišty, 4 – tvarovaná vodící lišta, 5 – pohybový šroub, 6 – ozubený řemen, 7 – ozubený segment

Všechny předchozí konstrukční nákresy dveřních systémů byly převzaty z portfolia firmy IFE, která působí v oblasti výroby vstupních dveří vlaků - viz zdrojový odkaz [20].

2.3 Rozdělení dveří podle způsobu ovládání

2.3.1 Ručně ovládané

Otevírání a zavírání dveřního křídla je prováděno manuálně pomocí klikového mechanismu u bouchacích dveří nebo pomocí madla u posuvných dveří.

2.3.2 Poloautomatické

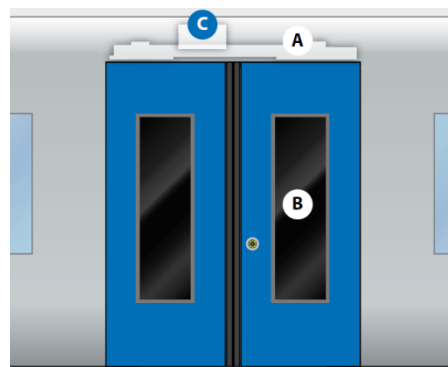
Dveře ovládané poloautomaticky jsou zpravidla vybaveny tlačítkem, po jehož stisknutí je přiveden signál do řídicí jednotky, a pokud je současně řidičem vozidla přiveden signál pro odblokování dveří, dveře se otevřou. Tomuto způsobu se také říká poptávkové otevírání dveří a v soudobých vlacích je v naprosté většině používán u vnějších (vstupních) dveří, příp. u čelních dveří.

2.3.3 Automatické

Prostor před dveřmi je snímán optickým snímačem, který automaticky přivádí signál pro otevření dveří, jakmile zachytí ve snímaném prostoru jakýkoliv pohyb. Tento způsob otevírání se nejčastěji používá u posuvných vchodových dveří budov, ale lze se s ním také setkat u posuvných interiérových dveří moderních vlaků.

2.4 Konstrukční součásti pohonu dveřních systémů a jeho příslušenství

Základními prvky tvořící dveřní systémy osobních vlaků jsou motor (A) pohánějící přes pohybový mechanismus dveřní křídla (B) a řídicí jednotka (C), která řídí motor nebo jiné akční členy dveřního systému a na základě připojených snímačů monitoruje aktuální stav dveří.



Obr. 2.15 Základní konstrukční prvky dveřních systémů [22]

2.4.1 Motor

Uvádí do pohybu otevírací mechanismus dveří, za pomoci převodu vstupní energie, která může být např. tlaková nebo elektrická, na energii mechanickou. Podle druhu vstupní energie tedy rozdělujeme motory na pneumatické a elektrické, příp. další. V praxi se pro pohon dveřních systémů nejčastěji používají pneumatické válce a stejnosměrné elektromotory.

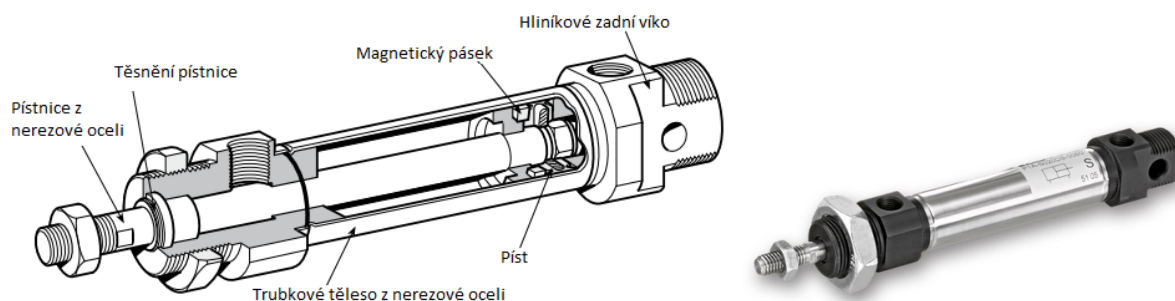
Pneumatický válec

Nejpoužívanějším typem pneumatických válců, pohánějící dveřní systémy vlaků, jsou dvojčinné pneumatické válce s jednostranně vyvedenou pístnicí (viz. Obr. 2.16).

Válec se sestává z tělesa, které může být svorníkové, svařované nebo šroubované konstrukce, pístu a pístnice válce a různých typů těsnění v podobě O-kroužků a manžet.

Působením tlakové energie na plochu pístu dochází k přímočarému pohybu pístu a tedy i pístnice, neboť tvoří spolu jeden celek.

Některé válce mohou být vybaveny magnetickým páskem umístěným v obvodové drážce pístu, který slouží pro indikaci polohy pístu pomocí magnetických snímačů přichycených k tělesu válce.



Obr. 2.16 Dvojčinný pneumatický válec s jednostranně vyvedenou pístnicí [5]

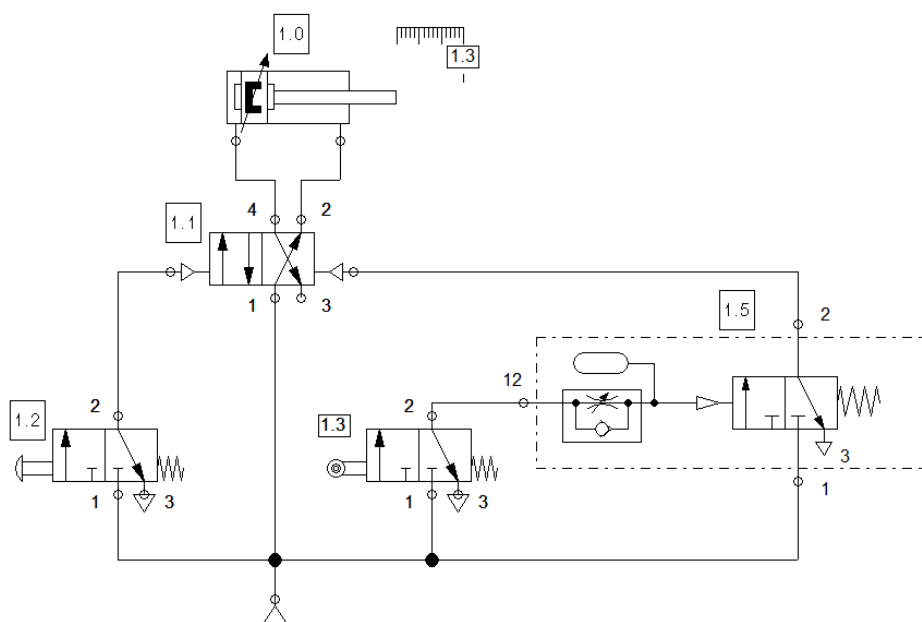
Výhody: jednoduchá konstrukce, není nutný převod z rotačního na translační (posuvný) pohyb, nehrozí nebezpečí poškození při přetížení, snadná údržba a diagnostika.

Nevýhody: nízká účinnost, nutnost dodávky patřičně upraveného stlačeného vzduchu, hlučnost od expandovaného vzduchu, malý přenášený výkon v poměru s velikostí motoru, použití velkého počtu prvků pro řízení tlaku a průtoku (síly a rychlosti).

Řízení pneumatických motorů

Ovládání činnosti pneumatických motorů je realizováno pomocí prvků pro hrazení a řízení průtoku vzduchu, kterými bývají rozváděče a ventily. Rozváděče hradí průtok stlačeného vzduchu do pneumomotoru pomocí šoupátka. Ventily řídí průtok buď kuželkou, nebo kuličkou dosedající do sedla. Ovládání ventilů a rozváděčů může být manuální, mechanické, elektrické, pneumatické nebo kombinované.

Příklad pneumatického obvodu pro ovládání válce určeného k otevírání dveří s nastavitelnou časovou prodlevou automatického zavírání lze vidět na Obr. 2.17.



Obr. 2.17 Pneumatický obvod určený k ovládání dveří [3]

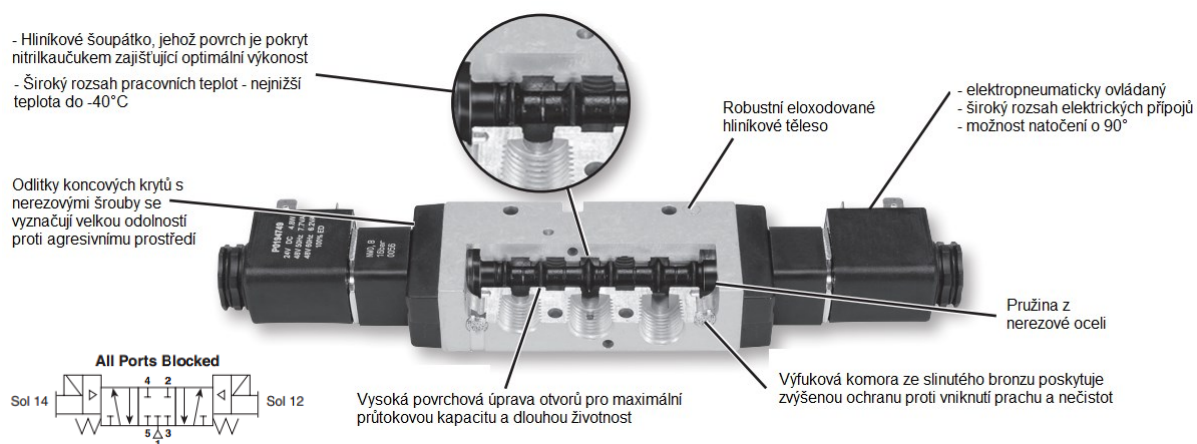
- 1.0 – Dvojčinný pneumatický válec s jednostrannou pístnicí
- 1.1 – Dvupolohový čtyřcestný rozváděč, bistabilní, ovládaný pneumaticky
- 1.2 – Dvupolohový třicestný rozváděč, monostabilní, ovládaný tlačítkem, v klidové poloze uzavřený (tlačítko pro otevření dveří).
- 1.3 - Dvupolohový třicestný rozváděč, monostabilní, ovládaný kladkou, v klidové poloze uzavřený
- 1.5 – Pneumatické časové relé

Rychlost pohybu pístu válce regulujeme velikostí přiváděného průtoku vzduchu, neboli čím větší průtok, tím větší rychlost.

Pro ovládání pneumatického válce pohánějící dveřní křídla vlaků je nutné používat takové rozváděče a ventily, které by zajišťovaly spolehlivou funkčnost i při velmi rozdílných teplotách. Příkladem takovýchto rozváděčů jsou rozváděče Viking Xtreme od firmy Parker, které spolehlivě pracují i při teplotách od -40°C do 60°C .

Těleso válce je vyrobeno z hliníku, jehož povrch je upraven eloxací neboli elektrolytickou oxidací hliníku. Rozváděče se zkouší proti působení agresivní solné mlhy a proti vibracím.

Maximální provozní tlak: 1,2 MPa, požadavky na filtraci: velikost částic $< 5 \mu\text{m}$.



Obr. 2.18 Rozváděč Viking Xtreme, elektropneumaticky ovládaný [7]

Bezpečnostní lineární pneumomotor

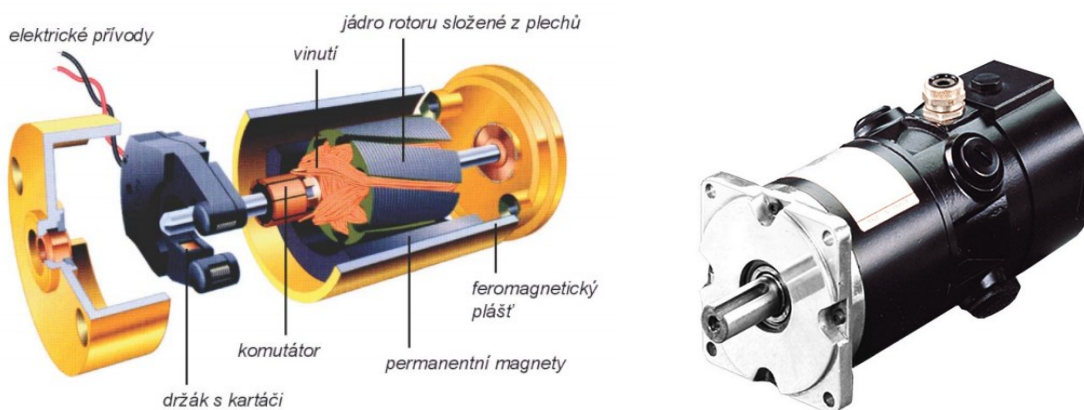
Princip činnosti vychází z pohyblivého pístu ve válci, jehož posuvný pohyb se nepřenáší pístnicí, ale buď pružným kovovým páskem spojeným s unášecí přírubou, nebo působením uzavřeného magnetického pole permanentních magnetů, umístěných v pohyblivém pístu a unášecím kroužku. Výhodou bezpečnostních pneumomotorů je úspora místa a dosažení mimořádně velkých zdvihů.



Obr. 2.19 Bezpečnostní lineární pneumomotor [8]

Stejnoseměrný elektromotor (DC motor)

Funkcí motoru je převod stejnosměrného elektrického proudu na rotační pohyb hřídele, využitím elektromagnetismu resp. elektromagnetické indukce. Stator tvořený permanentními magnety vytváří stálé magnetické pole. Uvnitř statoru je uložen rotor sestávající se z hřídele, vinutí, jádra a komutátoru. Elektrický proud je přiváděn přes držák s kartáči na komutátor, který zajišťuje změnu polaritu elektrického proudu procházejícího vinutím a jádro rotoru s vinutím se tedy chová jako magnet střídající svou polaritu. Vzájemným přitahováním opačných magnetických pólů a odpuzování souhlasných pólů, je docíleno krouticího momentu na rotoru.



Obr. 2.20 Řez stejnosměrným elektromotorem [33], a reálné provedení DC servomotoru [9]

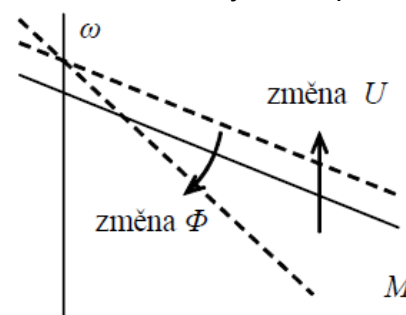
Výhody: malé rozměry a kompaktnost, dobrý poměr hmotnost – výkon, vysoká účinnost, snadné řízení otáček, momentu, poměrně nízké pořizovací náklady

Nevýhody: opotřebování kartáčů a komutátoru, jiskření, nebezpečí zkratu, přetížení, nutnost převodu rotačního pohybu hřídele motoru na translační pohyb dveřních křídel

Řízení stejnosměrných motorů

Změna otáček nebo krouticího momentu stejnosměrných motorů je realizována buď pomocí změny velikosti přiváděného elektrického napětí na kotvu elektromotoru, nebo změnou magnetického toku. Magnetický tok u motorů s cizím buzením je dán proudem procházející budicí cívkou, nikoli však u motorů s permanentním magnetem, kde tato změna není možná.

Patříčná změna elektrického napětí a tedy otáček elektromotoru je řízena elektronickými řídicími systémy.



Obr. 2.21 Otáčková charakteristika stejnosměrných motorů se sériovým buzením [4]

2.4.2 Řídicí systém

Řídicí systém je ústředním prvkem dveřních systémů, jehož funkce je řízení a monitorování dveří s neustálým ověřováním aktuálního stavu. Tím je zajištěna jejich správná funkce s ohledem na maximální bezpečnost. Jednotlivé dveře mají vlastní řídicí jednotky, které jsou podřízené centrálnímu řídicímu systému vlaku.

Podle typu použitého pohonu dveří se rozdělují řídicí systémy na elektronické a elektropneumatické.

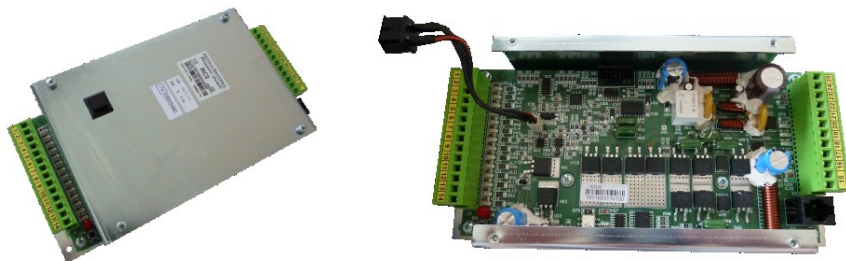
Elektronická řídicí jednotka

Slouží pro řízení pohybu elektropohonů dveří, nejčastěji stejnosměrných elektromotorů s dvoukanalovým impulsním enkodérem, jakožto snímačem otáček přivádějící zpětnou vazbu. Na vstupní porty řídicí jednotky jsou přiváděny signály od snímačů a spínačů. Výstupní porty jsou určeny k řízení elektromotorů pohánějící dveřní křídla a dalších zařízení, jako např. dveřních zámků aj.

Jednotka může obsahovat také řídicí obvody pro bezpečnostní prvky, jako je ochrana cestujících proti sevření dveřmi, znemožnění rozjezdu vlaku, s otevřenými dveřmi, apod.

Komunikace mezi řídicí jednotkou a centrálním řídicím systémem vlaku může probíhat přes rozhraní CAN open, RS232, RS485, Ethernet ale i jiné, určené výrobcem.

Obvyklé napájecí napětí řídicí jednotky je $\pm 24\text{VDC}$.



Obr. 2.22 Elektronická řídicí jednotka dveřních systémů [28]

Řídicí moduly pro pneumaticky ovládané dveřní systémy

Stlačeným vzduchem poháněná ovládaní dveřních systémů mívají jako ovládací prvek zpravidla ventilový blok, který je tvořen z elektromagneticky, případně pneumaticky ovládaných ventilů a rozváděčů. Ventilový blok sdružuje několik funkcí - například zavírání a otevírání dveří, ovládaní zajišťovacích zámků, nouzové odvětrávání tlakového vzduchu v případě havárie a podobně. Některé typy bloků jsou opatřeny tlakovými spínači pro detekci zvýšení tlaku vzduchu v přívodní větvi, způsobeném sevřením cizího předmětu či pasažéra dveřmi. Mohou také být osazeny škrticími ventily pro seřizování rychlosti otevírání dveří. Elektromagnetické cívky snášejí 100% zatížení elektrickým napětím a je možné je doplnit konektorem s diodou ochraňující zařízení proti přepětí, jak je uvedeno v literatuře [35].

Elektro – pneumatické řídicí moduly dveřních systémů

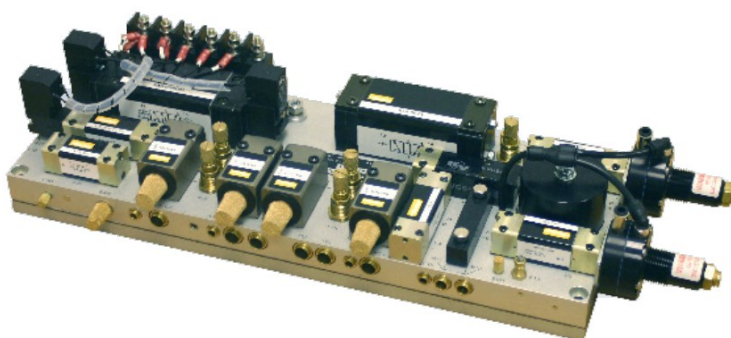
Řídicí modul od firmy Parker [10]

Systém řídí a monitoruje pneumatický pohon pro otevírání a uzavírání dveří a zahrnuje také vyhodnocovací systém detekce překážky. Při zjištění překážky mezi dveřními křídly systém aktivuje pneumatickou časovou prodlevu (časovou ochranu), kterou lze libovolně nastavit a během ní lze dveřní křídla snadno odtlačit zpět.

- Systém umožňuje:
- Nouzový přístup
 - Nouzový výstup
 - Aktivní regulace uzamčení – uvolnění
 - Nezávislé ovládání rychlosti každých dveří

Komponenty, ze kterých je systém složen: elektromagnetické ventily, regulátory průtoku, zařízení pro detekci překážek mezi dveřními křídly, logické prvky, časovače, šroubení, elektrické přívody a regulační ventily.

Teplota, pro spolehlivý provoz systému, by se měla pohybovat mezi -20°C a 50°C .



Obr. 2.23 Elektropneumatický řídicí modul dveřních systémů [10]

Řídicí modul od firmy Train door solutions [36]

Na základní ocelové desce modulu jsou umístěny následující komponenty: řídicí ventily pro otevírání a zavírání dveřních křídel, personální ventil, nouzový vypouštěcí ventil, ventil a tlakový spínač systému detekce překážky, regulátor pro snížení otevírací síly a ventil pro plynulý rozjezd.

Vstupní napětí modulu je 24V DC, rozsah pracovních teplot: od -10°C do 65°C a pracovní tlak: 0,3 MPa.



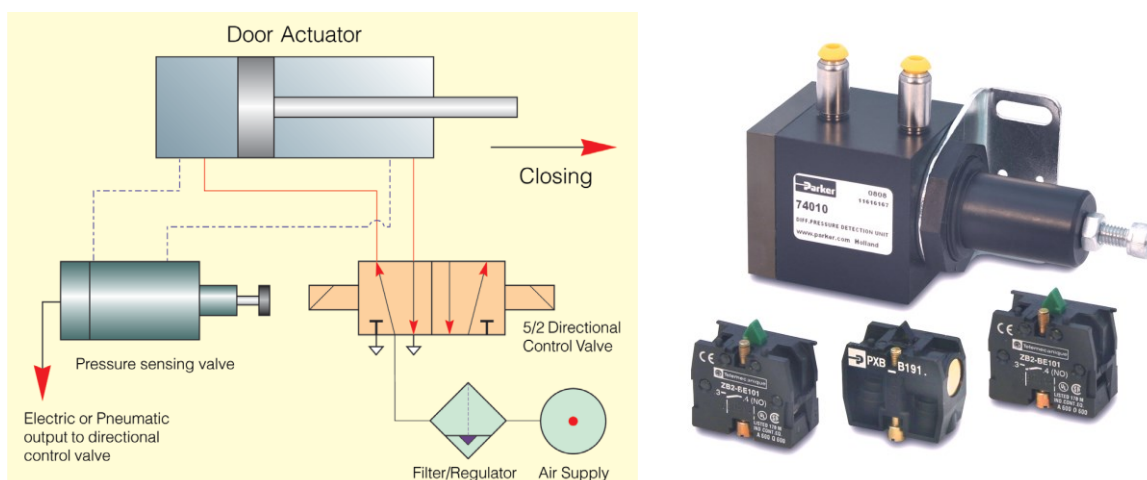
Obr. 2.24 Řídicí modul dveřních systémů [36]

V dnešní době se již upřednostňují elektricky poháněné dveřní systémy z důvodu zjednodušení procesu řízení a úspory místa, neboť pro řízení elektrického pohonu stačí pouze elektronická řídicí jednotka na rozdíl od pneumatických pohonů, kde je potřeba použití většího počtu řídicích prvků. Podle literatury [32], uplatnění pneumaticky poháněných dveří ovšem stále zůstává, například pro únikové cesty nebo protipožární dveře.

2.4.3 Snímače a senzory

Diferenční tlakový spínač

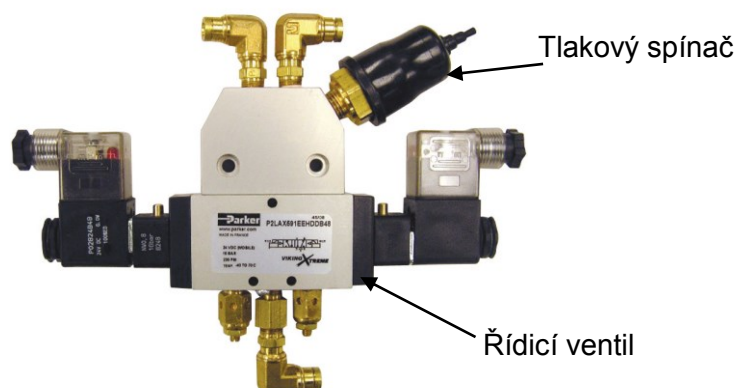
Pracuje na principu snímání tlakové difference jednotlivých komor pneumatického válce. Pokud nastane sevření osoby, či jiné překážky při zavírání dveří, dojde ke ztrátě protitlaku ve výstupní komoře válce a navýšení na plný pracovní tlak v komoře vstupní. Tato tlaková difference je detekována tlakovým spínačem a při překročení nastavené hodnoty tlaku dojde k vyslání buď pneumatického, nebo elektrického signálu řídicí jednotce. Po přijetí a vyhodnocení signálu, řídicí jednotka vyšle signál pro přestavení polohy rozváděče řídicího pneumatického válce a dveře se začnou otevírat.



Obr. 2.25 Pneumatický tlakový spínač a schéma zapojení v pneumatickém obvodu [11]

Ventilový modul systému detekce překážek

V případě sevření překážky dveřními křídly připojený tlakový spínač detekuje nárůst tlakové difference a vyšle signál pro přestavení šoupátka řídicího ventilu pohonu dveří. To způsobí znovuotevření dveřních křídel a tedy uvolnění sevřené překážky.



Obr. 2.26 Ventilový modul systému detekce překážek [11]

Spínací tlak lze nastavit v rozmezí od 45 PSI = 0,31 MPa do 116 PSI = 0,79 MPa.

Pro stanovení rychlostních požadavků detekce překážky, lze pomocí škrticího šroubu nastavit velikost průtoku vzduchu ke spínači.

Deformační lišty

Jedná se o senzory generující výstupní signál vždy, když dojde k deformaci pryžového profilu senzoru. Mohou pracovat buď na optoelektrickém principu anebo na principu odporovém. Vyrábějí se v provedení spínacím nebo rozpínacím.

Optoelektrická deformační lišta

Senzor se skládá z vysílače a přijímače, dále pak z gumového profilu nasazeného na hliníkové vodítko a řídicí jednotky. Vysílač a přijímač jsou umístěny na koncích dutého pryžového profilu a zastrčeny dovnitř profilu tak, aby impulsní paprsky infračerveného světla vysílače byly detekovány naproti umístěným přijímačem.

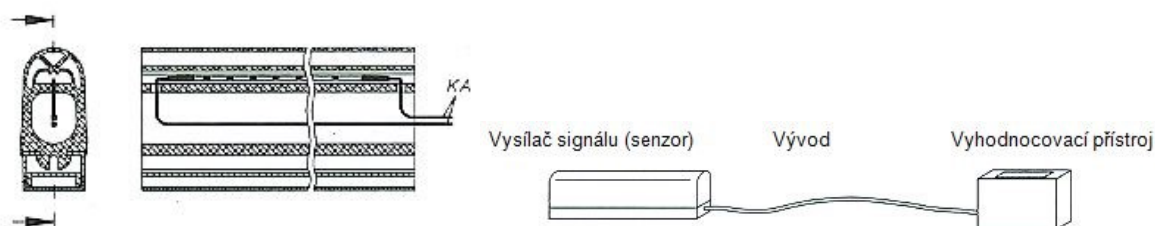


Obr. 2.27 Optoelektrická deformační lišta [34]

Tímto je spolu v součinnosti s řídicí jednotkou dosaženo dynamického sledování deformace pryžového profilu, neboli zeslabením světelného paprsku řídicí jednotka vyše signál znamenající deformaci pryžového profilu.

Odporová deformační lišta

Rovněž odporové deformační lišty jsou tvořeny gumovým profilem, avšak v tomto případě skrz něj vedou dva vodiče tvořící princip otevřeného spínacího kontaktu. V klidovém stavu jsou vodiče od sebe odděleny, ale pokud na jakékoliv místo celkové délky pryžového profilu spínače začne působit tlak a nastane její deformace, vodiče se stlačí k sobě a dojde k sepnutí spínače, neboli k vyslání signálu [41].



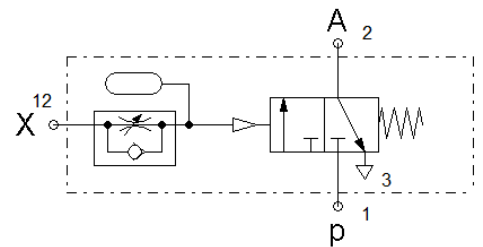
Obr. 2.28 Řez profilem odporové deformační lišty a náčrt celého snímacího systému [40]

Odporová deformační lišta má funkci vysílače signálu a bývá součástí bezpečnostního systému, který je dále tvořen vyhodnocovací jednotkou, kde dochází ke zpracování signálu. Vyhodnocovací zařízení je dále propojeno s řídicí jednotkou daného stroje, ke které přenáší bezpečnostní signály např. pro zastavení provozu.

Časová ochrana

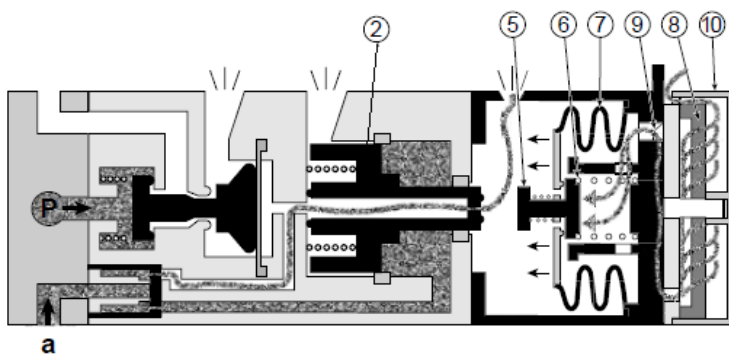
Jedná se o bezpečnostní prvek sloužící pro nastavení časového zpoždění pro znovuzavření dveřních křídel, v případě když dojde k sevření osoby či předmětu. Tato doba musí být nastavena tak, aby bylo možné bezpečně vyprostit osobu či předmět ze dveří.

Funkci časového zpoždění je možné realizovat pomocí pneumatického časového relé nebo elektrického časového spínače, popřípadě softwarově (naprogramováním řídicí jednotky).

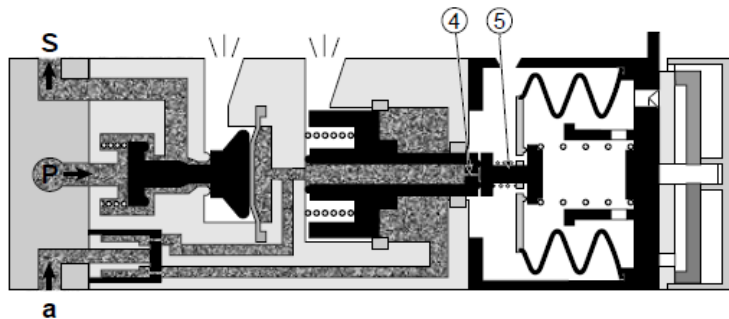


Obr. 2.29 Pneumatické časové relé se zpožděním na náběžné hraně [3]

Funkční schéma pneumatického časového relé:



Obr. 2.30 Pneumatické časové relé - stav po přivedení signálu "a" [12]



Obr. 2.31 Pneumatické časové relé - aktivace signálu S [12]

- a – vstupní signál
- P – vstup stlačeného vzduchu
- S – výstupní signál
- 2 – píst plnicí komory
- 4 – odzdušňovací otvor
- 5 – utěšňovací píst
- 6 – pružina
- 7 – měch
- 8 – vzduchový filtr
- 9 – škrticí kanál
- 10 – otočná hlava pro nastavení časového zpoždění

Bezpečnostní zámky dveří

Bezpečnostní zařízení všech vnějších (vstupních) dveří vlaku, zajišťující dveřní křídla v uzavřené poloze a zabezpečuje jejich uzavření i při působení statických nebo dynamických sil, které by mohly způsobit jejich otevření.

Konstrukční provedení bezpečnostních zámků může být buď pneumaticko-mechanické, nebo elektromechanické.

Pneumatické provedení zámků dveří je realizováno pneumatickými válci s krátkým zdvihem pohánějící uzamykací mechanismus a řídicími ventily ovládané řídicí jednotkou dveří. Uzamykání dveří může být také provedeno samotným pneumatickým válcem krátkého zdvihu a to zasunutím jeho pístnice do blokovacího prvku.



Obr. 2.32 Provedení zamykacích mechanismů dveří [37], [23]

Nouzové otevírání dveří

Každé vnější (vstupní) dveře je nezbytně nutné vybavit zařízením pro nouzové otevírání dveří, které musí být manuálně (přímo) ovladatelné a slouží pro zastavení vlaku, je-li v pohybu a k následnému otevření dveří.

V případě pneumatického provedení se jedná o manuálně ovládaný ventil, který po přestavení šoupátka přivádí signál do řídicí jednotky a po uplynutí nastavené doby, v případě, že strojvedoucí na tento signál nereaguje, vlak musí automaticky zastavit a otevřít dveře [38].



Obr. 2.33 Ventily nouzového otevírání dveří [37], [13]

3. Bezpečnostní požadavky na dveřní systémy vlaků

Bezpečnostní požadavky kladené na dveřní systémy osobních kolejových vozidel, resp. na boční vstupní systémy vlaků, tramvají a vozů metra jsou stanoveny především normou ČSN EN14752:2015 – Železniční aplikace – boční vstupní systémy.

Podle této převzaté normy [1] musí konstrukce a ovládání vstupních dveří osobních vlaků zajišťovat:

- Bezpečný nástup a výstup cestujících;
- Použitelnost pro osoby se sníženou pohyblivostí
- Minimální riziko zranění osob při ovládání dveří;
- Trvalé uzavření dveří při pohybu vozidla;
- Bezpečnou údržbu dveřních systémů.

Z hlediska bezpečnosti jsou kladeny různé požadavky na dveřní systémy pro osobní vagóny vlaků nepřesahující rychlost 250 km/h a vagóny vysokorychlostních osobních vlaků.

V této práci se budeme zabývat návrhem dveřního pohonu pro osobní vlaky meziměstské dopravy, a tedy se nebude jednat o vlaky vysokorychlostní.

3.1 Termíny a definice

- Čelní hrana dveří – hrana dveří, která je při zavírání vpředu ve směru pohybu.
- Zařízení pro nouzový výstup – ovládací prvek pro ruční otevírání dveří zevnitř v případě nouze.
- Zařízení pro nouzový vstup – ovládací prvek pro ruční otevírání dveří zvenjšku v případě, že dveře nejsou schopny normální činnosti.
- Kusová zkouška (routine test) – zkouška prováděná u každého dveřního zařízení v průběhu výroby nebo po vyrobení.
- Zkouška typu (type test) – zkouška jednoho dveřního systému a jeho součástí pro prokázání, že konstrukce splňuje požadavky normy a příslušné specifikace.
- Vlaková četa – osoby oprávněné manipulovat s dveřmi.

3.2 Konstrukční požadavky

3.2.1 Konstrukce dveřního otvoru – Minimální šířka

Dveře musí mít volnou průchozí šířku minimálně 800 mm umožňující volný nástup a výstup cestujících. Ve vlacích, kde není žádný shod mezi prahem dveří bezbariérového přístupu a přilehlou předsíní, musí být volná průchozí šířka dveří minimálně 1000 mm.

3.2.2 Mechanická pevnost dveří

Odolnost proti náporu cestujících

Dveřní systém musí, bez trvalé deformace nebo selhání funkce, odolávat silám vznikajícím při opírání se nebo při nárazu cestujících na křídlo dveří.

Aerodynamické namáhání

Dveřní systém musí odolávat účinkům tlakových impulsů, které působí na povrch dveří, aniž by došlo k trvalé deformaci nebo selhání funkce systému.

Odolnost proti vibracím a rázům

Dveřní systém musí být navržen tak, aby odolával působení vibrací a rázů tak, jak je to pro vybavení vozidel stanoveno v EN 12663-1. Jsou-li smlouvou dohodnuty zkoušky mechanických součástí citlivých na vibrace a rázy, musí být tyto zkoušky provedeny v souladu s EN 61373.

3.2.3 Zařízení pro nouzový vstup a výstup

Každé dveře musí být vybaveny zařízením pro nouzový výstup, jehož umístění musí být uvnitř vozidla v oblasti poblíž dveří.

Počet a umístění vstupních zařízení musí být uveden ve smlouvě nebo jiných předpisech. Ovládací prvek vstupního zařízení musí být umístěn v blízkosti dveří v takové výšce, aby mohl být použit jak z úrovně koleje, tak i ze všech nástupišť s běžnou výškou.

Zařízení musí být možno ovládat klíčem, nebo rukojetí.

3.2.4 Elektrické a pneumatické napájení

Elektrické a pneumatické zařízení dveří musí být navrženo v souladu s požadavky 8.2.1 „Provozní podmínky“ v EN 60077-1:2002.

3.2.5 Elektronická zařízení

Hardware

Elektronické zařízení musí být konstruováno v souladu s požadavky EN 50155 a EN 50121-3-2.

Software

Pro splnění všech bezpečnostních požadavků na dveřní systém, musí být software dveří navržen na nezbytné úrovni úplné bezpečnosti (SSIL – Software Safety Integrity Level). Pravidla pro software drážních řídicích a ochranných systémů jsou uvedena v EN 50128.

Funkce softwarového vybavení musí být ověřena během zkoušky typu a v případě úpravy řídicího systému dveří.

3.2.6 Ochrana před nebezpečím

Elektrické vybavení musí být navrženo v souladu s požadavky stanovenými EN 50153 tak, aby se zabránilo přímému nebo nepřímému dotyku osob s částmi pod napětím.

Součástí dveřních systémů, které musí být přístupné pro údržbu a seřízení/nastavení dveří, nemají být umístěny v bezprostřední blízkosti nebezpečných prostorů, tj. s možným nebezpečím zachycení nebo úrazu elektrickým proudem; popřípadě musí být vestavěn místní odpojovací systém.

Mají se brát v úvahu rizika spojená s přetržením trolejového vedení.

Ve smlouvě musí být stanoveny charakteristiky zkratového proudu.

3.3 Provozní požadavky

3.3.1 Ovládání dveří

Dveře musí být možno odblokovat povelom vlakové čety nebo automatického systému.

Dveře musí být možno odblokovat pouze při rychlosti vlaku menší než 3 km/h. Ve smlouvě může být stanovena i rychlost nižší. Ve speciálních provozních podmínkách, které nejsou předmětem TSI předpisů, dané smlouvou, může být požadováno odblokování dveří při rychlosti vlaku menší než 5 km/h. K odblokování dveří nesmí dojít v případě výpadku napájení dveřního systému.

Odblokování dveří musí být provedeno na zvolené straně vozidla. Je-li to požadováno infrastrukturou, může být možné současné odblokování dveří na obou stranách vlaku. Tento požadavek však nelze uplatnit, jestliže odblokovací signál nelze přenášet přes celý vlak v důsledku problémů s propojením stávajících vozidel.

Pokud nemají být z provozních důvodů některé dveře na jedné straně vlaku odblokovány (např. krátké nástupiště), musí to být stanoveno ve smlouvě.

Ovládací systém musí být konstruován tak, aby se bez povelu otevřely příslušné neodblokované dveře, až při současném výskytu alespoň dvou nezávislých závad. Pokud nelze kvůli problémům se vzájemným propojením stávajících vozidel přenášet odblokovací signál přes celý vlak, platí tento požadavek pro rychlost vlaku vyšší než 3 km/h.

Mechanické blokování pro dveřní systém s pohonem

Pro zamčení dveří v zavřené poloze musí být použito mechanické zařízení.

Po zamknutí musí zamykací zařízení zůstat zamknuto až do odblokování a do okamžiku příchodu povelu pro otevření nebo do doby uvedení nouzového zařízení do činnosti.

Po zamknutí musí zamykací zařízení zůstat zamknuto i v případě výpadku napájení dveřního systému nebo vozidla.

Vyřazení dveří z provozu

Není-li ve smlouvě stanoveno jinak, musí být možné zamknout nepoužívané dveře z vnitřku vozidla (např. u automaticky řízených vlaků). Vyřazovací zařízení musí být konstruováno tak, aby dveře mohla ručně ovládat pouze oprávněná osoba.

Zařízení musí

- Zablokovat dveře proti jakémukoli povelu pro otevření
- Mechanicky zamknout dveře v zavřené poloze
- Indikovat stav vyřazovacího zařízení a
- Místně překlenout zajišťovací spínač (např. uzavřený a uzamknutý spínač) dveří.

Ve smlouvě musí být uvedeno, zda má být vyřazovací zámek ovládán i z vnějšku vozidla.

Zařízení musí být konstruováno tak, aby se neaktivovalo následkem účinku zrychlení, či zpomalení.

Pro účely údržby musí být možné u každých dveří vypnout napájení dveřního systému

3.3.2 Podmínky pro zavírání dveří

Cílem opatření pro bezpečnost dveří je vyloučit zachycení osob (včetně osob se sníženou pohyblivostí) a předmětů, např. zavazadel, ve dveřích, a to maximálně racionálním způsobem.

Pro minimalizaci rizika a rozsahu zranění platí následující podmínky.

Bezpečnostní opatření

Následující body definují požadavky pro snížení možnosti zachycení cestujících a předmětů dveřmi:

- a) Varování cestujících před uvedením dveří do pohybu,
- b) Minimalizace nárazových sil působících na osobu nebo předmět zachycené dveřmi (např. omezení výkonu pohonu dveří, citlivé hrany) a
- c) Minimalizace rizika zranění cestujících zavírajícími se dveřmi použitím vhodné konstrukce čelních hran dveří (např. měkké hrany, síly odstraňující překážky).

Detekce překážky dveří

Citlivost detekce překážky

Je-li hranol z nepružného materiálu o průřezu 30 mm x 60 mm vložen delší příčnou stranou svisle mezi čelní hranu a rám dveří nebo mezi dvě křídla dveří, nesmějí být dveře indikovány jako zavřené a zamknuté.

Požadavek musí být ověřen ve třech místech – ve spodní, střední a horní části dveří. Je-li použito měkké vodorovné spodní pryžové těsnění, platí tento požadavek od dolní hrany křídla dveří směrem nahoru nad pryží.

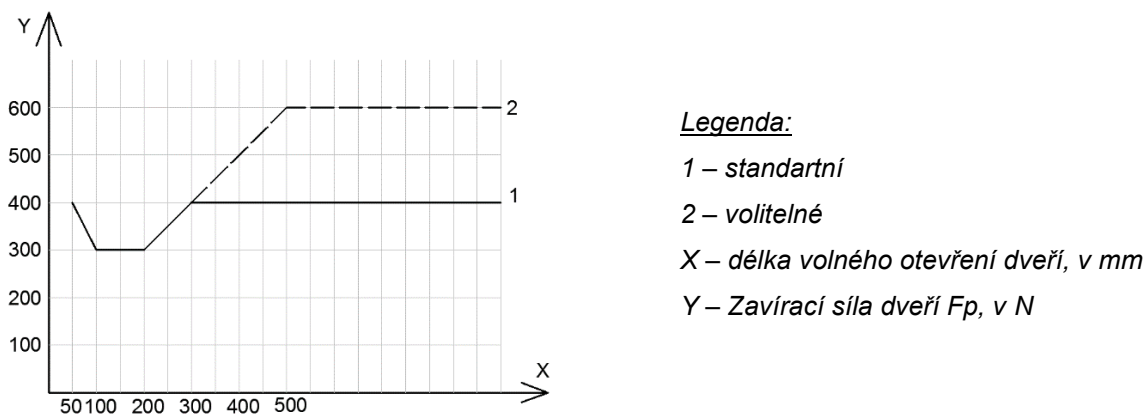
Nárazová síla dveří

Následující požadavky definují omezení nárazové síly dveří na cestující.

Síla při zavírání

Maximální síla působící na překážku, reprezentovanou měřicím zařízením podle přílohy D, by během uzavíracího zdvihu, neměla překročit hodnoty definované na obrázku 3.1.

Úroveň větší síly (2) je speciálně určena pro potřeby velmi vysoké hustoty provozu. V tomto případě provozovatel stanoví úroveň této síly ve smlouvě na základě obecné koncepce bezpečnosti provozu.



Obr. 3.1 Definovaná závislost nárazové síly dveří na délce volného otevření [1]

Toto musí být prokázáno měřením nárazové síly mezi přilehlými hranami se zařízením mající stejnou pružinovou charakteristiku, jako je definováno v příloze D.

Řídicí systém dveří musí zahrnovat regulační obvod pro stabilizaci detekované síly (např. řízení rychlosti, řízení hnací síly a reakce na změnu tření). Z toho důvodu nejsou nutná pravidelná měření v plánu údržby.

V případě detekce překážky, síla při zavírání (dynamická a statická) nesmí působit déle než 1 s. Po uplynutí této doby musí dveře automaticky zastavit a dále se musí buď:

- Plně znovuotevřít;
- Částečně znovuotevřít, alespoň o 100 mm mezi přilehlými hranami; nebo
- Uvolnit a stát se manuálně pohyblivé.

Časové zpoždění před opětovným zavřením musí být alespoň 0,5 s poté, co byla odstraněna uzavírací síla.

Síla potřebná pro odstranění překážky

Překážku s maximálními rozměry 10 mm x 50 mm, sevřenou na delších příčných svislých stranách mezi čelní hranou a rámem dveří nebo mezi dvěma křídly dveří, musí být možno pomalu vytáhnout směrem ven silou nejvýše 150 N, měřeno kolmo k povrchu dveří. Rovněž nesmí být indikováno zavření a zamknutí dveří. Požadavky musí být ověřovány pouze ve střední části dveří.

Zabezpečení proti tažení

Pro minimalizaci nebezpečí možného tažení osoby nebo předmětu v případě zachycení dveřmi, existuje několik způsobů, kterými toho může být dosaženo. Mezi ně patří použití dveří se stupínkem, použití kamer nebo přímým dohledem vlakové čety kontrolující, že nikdo nebo nic není sevřeno dveřmi před odjezdem vlaku.

Primárním cílem zabezpečení proti tažení je detekovat i malé objekty o tloušťce 10 mm sevřené ve dveřích, aby se zabránilo rozpohybování vlaku.

V případě, že objekt není detekován staticky, sekundární prvky jej musí detekovat dynamicky a to silou vzniklou na čelní hraně dveří od tažené osoby při rozjezdu vlaku.

Aktivace systému zabezpečující tažení musí být okamžitá, poté co se dveře vlaku zavřou a zamknou a vlak se začne rozjíždět. Když toto zařízení (např. kontaktní lišta čelní hrany) je spuštěno, vlaku musí být buď znemožněn rozjezd, nebo musí zastavit během přiměřené doby nebo ujeté vzdálenosti.

Systém by měl zůstat aktivní pro případ statické detekce, alespoň dokud vlak nepřekročí rychlost 3 km/h a v případě dynamické detekce, alespoň dokud poslední cestující neopustí oblast nástupiště. Poté může být systém vypnut příslušným signálem. Podrobnosti o deaktivaci systému musí být uvedeny ve smlouvě.

Podrobnější požadavky k protitažnému systému jsou popsány v normě.

Čelní hrany

Čelní hrany dveří musí být konstruovány tak, aby bylo v maximální možné míře zabráněno zachycení osob a předmětů. Konstrukce čelní hrany má minimalizovat riziko a rozsah zranění způsobeného dveřním vybavením.

Ověření uzavřeného dveřního systému - zajišťovací systém dveří

Rozjetí vlaku musí být možné, pouze pokud jsou všechny dveře zavřené a zamčené, mimo stávající lokomotivy a nezávislé vagóny, kde vnitřní signál není k dispozici. Před odjezdem musí dodat kontrolnímu vlakovému systému vstupní systém signál, že dveře pro cestující jsou zavřené a zamčené.

U samostatných vozidel určených k používání spolu se stávajícími vozidly, kdy přenos tohoto signálu není možný, se musí dveře pro cestující automaticky zavřít, když rychlost vlaku překročí 3 km/h.

3.3.3 Podmínky pro otevírání dveří

Dveře musí být konstruovány tak, aby se při jejich otevírání v maximální možné míře zabránilo zachycení osob a předmětů (např. zavazadel) a minimalizovalo riziko a rozsah zranění způsobeného dveřním vybavením. Otevírání dveří musí být možné, pouze pokud vozidlo má přijet k zastávce (tj. pohybuje se rychlostí menší než 3 km/h).

3.3.4 Nouzový provoz

Nouzový výstup

Dveře se zařízením pro nouzový výstup, musí jít vždy odblokovat zevnitř vozidla. Dojde-li k výpadku napájení, musí zařízení pro nouzový výstup zůstat funkční a umožnit výstup.

Zařízení pro nouzový výstup musí být v trvale provozuschopném stavu za předpokladu, že dveře nebyly vyřazeny z provozu.

Ve smlouvě musí být uvedeno, zda se musí zamezit otevírání dveří v podmínkách neslučitelných s bezpečností cestujících (rychlost vozidla nad 10 km/h, poloha vozidla).

Zařízení pro nouzový výstup může být blokováno vlakovým liniovým zabezpečovacím zařízením a/nebo místním řídicím systémem.

Síla pro ruční otevření dveří

Pokud jsou po aktivaci nouzového zařízení nezamknuté dveře otevírány, nesmí být síla vynaložená osobou, která se nachází uvnitř nebo vně vozidla, větší než 150 N při rychlosti do 5 cm/s. Síla musí působit ve směru otevírání.

Pro aplikaci síly musí být k dispozici odpovídající prostředky. Nejsou-li k dispozici žádné hrany (např. okenní rámy), musí být dveře opatřeny zapuštěnými ovládacími prvky.

V případě otevírání odklopných posuvných (předsuvných) dveří, nesmí být při rychlosti otevírání do 5 cm/s síla nutná pro odklopení ve směru otevírání větší než 250 N (pro jednokřídlové dveře) a 300 N (pro dvoukřídlové dveře).

Hodnoty sil pro otevírání dveří platí pouze pro vozidlo stojící na vodorovné koleji.

Zařízení pro nouzový vstup

Dveře určené pro nouzový vstup a/nebo pro vstup vlakové čety musí být vybaveny daným zařízením umožňujícím vstup. Toto zařízení musí odemykat jednotlivé dveře z vnější strany vozidla. Při výpadku napájení musí zařízení pro nouzový nástup zůstat funkčním a musí umožnit nástup, pokud nebyly dveře vyřazeny z provozu.

Při ručním otevírání nezamknutých dveří (po uvedení zařízení pro vstup do činnosti) platí stejné podmínky jako v případě nouzového výstupu, uvedené výše.

Uvedení nouzového zařízení pro vstup nebo výstup do činnosti musí být signalizováno řídicímu vlakovému systému.

V případě výpadku proudu nebo nouzového provozu, musí být řídicím a bezpečnostním systémem obnoveno napájení vstupních systémů pro předejití zranění.

Při výrobě a před uvedením do provozu je nutné dveřní systém testovat. Dle normy [1] je požadováno pro prokázání, že dveřní systém pracuje správně, provést funkční zkoušku na plně vybaveném vozidle. Také je nutno provést kontroly podle EN 50215.

4. Vypracování variant řešení ovládacího systému dveří

Základním požadavkem zadavatele bylo vytvoření dvou variant řešení ovládacího systému k pneumatickému pohonu dveří. První varianta řešení by se měla sestávat především z pneumaticky ovládaných prvků. Druhou variantu zpracovat v provedení elektropneumatickém.

Požadavky na funkci systému:

- Otevírání dveří pomocí tlačítka, které je umožněno až po odblokování strojvedoucím
- Zavírání dveří povelom strojvedoucího, tj. stisknutím tlačítka v řídicí kabině
- Automatické zavírání dveří
- Nastavitelné časové zpoždění pro zavírání
- Ochrana proti sevření dveřními křídly – v případě, že dveře narazí na překážku, musí pohon dveří ihned zastavit a vykonat reverzní pohyb, automaticky dojet do výchozí polohy a být připraven znovu k vykonání funkce zavření.
- Nouzové otevírání dveří
- Signalizace zavřených dveřních křídel

Provozní podmínky:

- Teplota okolí: -25°C až $+60^{\circ}\text{C}$;
- Pracovní tlak: 0,4 až 0,8 MPa;
- Suchý nemazaný vzduch, filtrovaný ($<30\ \mu\text{m}$);
- Maximální vlhkost do 100%

Konstrukční požadavky:

- Pracovní zdvih: $965\ \text{mm} \pm 2,5\ \text{mm}$;
- Uchycení válce: oko – oko;
- Pracovní síla při otevření/zavření pro celý rozsah pracovních tlaků: 300 [N];
- Pracovní rychlost: 0,5 [m/s]

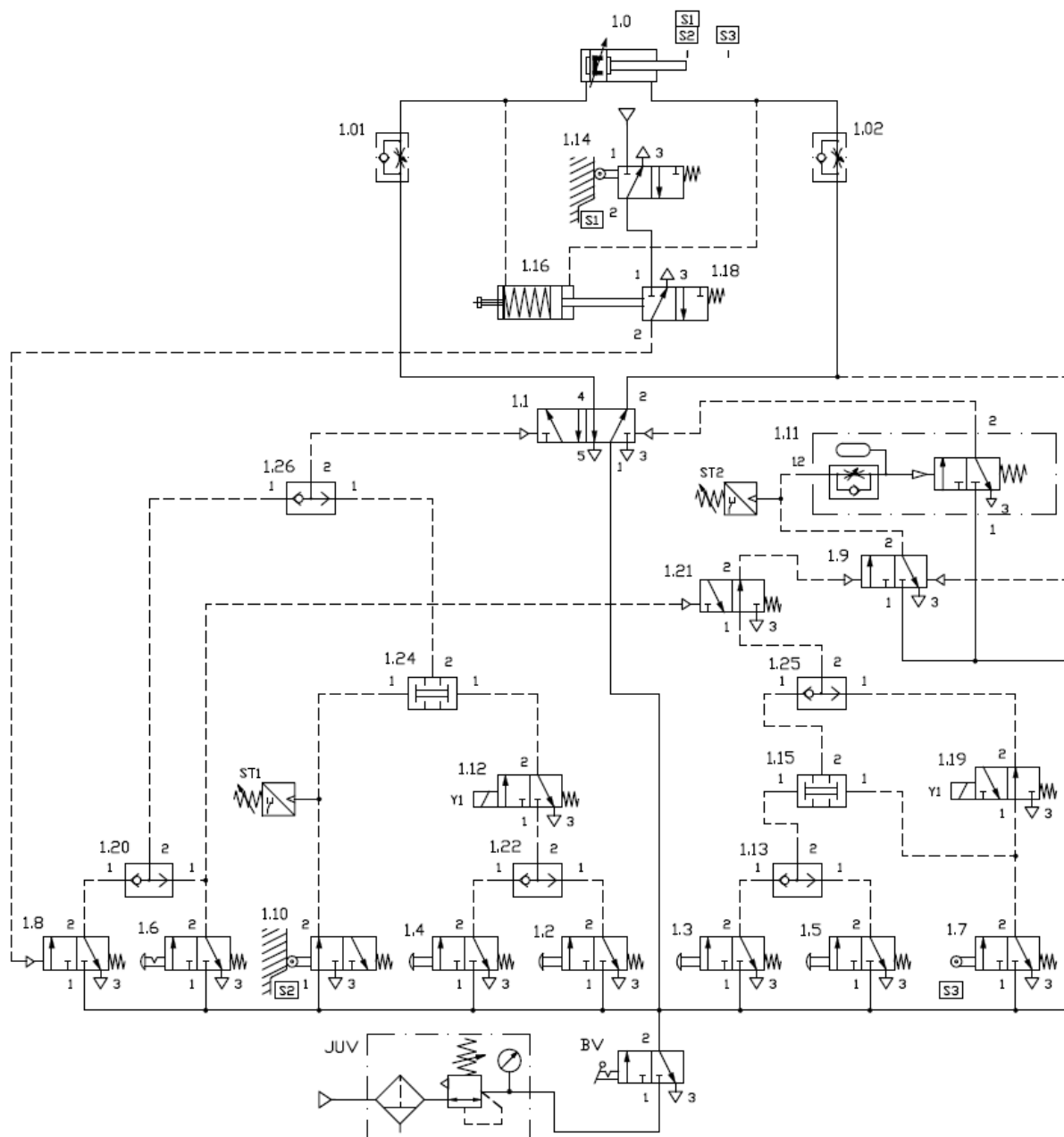
Jelikož zadání této diplomové práce stanovuje pouze výše zmíněné požadavky na konstrukční řešení a nebyla poskytnuta žádná výkresová dokumentace, konstrukční návrh pohonu dveřního systému bude řešen pouze jako návrh řídicího obvodu motoru. Diplomová práce se tedy nebude zabývat provedením konstrukčních mechanismů, jako je například pohybový mechanismus dveří, či mechanismus dveřních zámků.

Pro návrh bude uvažováno, že dveře poháněné pneumatickým válcem budou v provedení posuvném nebo předsuvném a při vysouvání pístnice válce bude realizováno otevírání dveří a naopak zasouváním pístnice, zavírání, jak bylo uvedeno na Obr. 2.8.

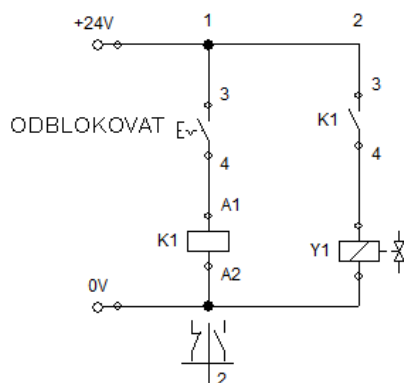
Na základě těchto stanovených podmínek a požadavků byly vypracovány následující varianty ovládacího systému pneumatického pohonu dveří.

4.1 Návrh variant pneumatického systému pohonu dveří

Varianta 1 – provedení se čtyřmi tlačítky



Obr. 4.1 Pneumatické schéma obvodu pohonu dveřního systému - varianta 1



Obr. 4.2 Elektrické liniové schéma k pneumatickému obvodu pohonu dveřního systému – varianty 1

Specifikace prvků pneumatického obvodu:

- 1.0 – Dvojitý pneumatický válec s nastavitelným tlumením koncových poloh a magnetickým páskem zasazeným v obvodové drážce pístu.
- 1.01, 1.02 – Škrticí ventil s obtokem – jednosměrným ventilem
- 1.1 – Bistabilní rozváděč 5/2 (pěticestný/dvoupolohový) pneumaticky ovládaný
- 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem se zpětným pohybem pružinou, v klidové poloze uzavřený (NC)
- 1.6 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný tlačítkem s aretací, v klidové poloze uzavřený (NC)
- 1.7 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný mechanicky kladkou (S3), v klidové poloze uzavřený (NC), slouží jako koncový spínač, detekující úplné vysunutí pístu válce
- 1.8 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný pneumaticky, v klidové poloze uzavřený (NC)
- 1.9 – Bistabilní rozváděč 3/2 ovládaný pneumaticky
- 1.10 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný mechanicky kladkou (S2), v klidové poloze uzavřený (NC), slouží jako koncový spínač, detekující přítomnost zavřených dveří
- 1.11 – Časové pneumatické relé se zpožděním na naběžné hraně
- 1.12 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný elektromagnetem Y1, v klidové poloze uzavřený (NC) se zpětným návratem pružinou, slouží jako blokovací ventil.
- 1.13, 1.20, 1.22, 1.25, 1.26 – Logické ventily OR – dvojité jednosměrné ventily
- 1.15, 1.24 – Logické ventily AND
- 1.14 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný mechanicky kladkou (S1), v klidové poloze otevřený (NO), slouží jako koncový spínač pro detekci tlumící dráhy pneumomotoru
- 1.16 – Diferenční tlakový snímač s nastavitelným spínacím tlakovým spádem
- 1.18 – Monostabilní 3/2 mechanicky ovládaný koncový spínač, v klidové poloze otevřený
- 1.19 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný elektromagnetem Y1, v klidové poloze otevřený
- 1.21 – Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný pneumaticky, v klidové poloze otevřený
- ST1, ST2 – Snímač tlaku s elektrickým výstupním signálem – p/l převodník
- JUV – Jednotka pro úpravu vzduchu (filtr s odlučovačem, redukční ventil, manometr)
- BV – Bezpečnostní ventil, bistabilní 3/2 rozváděč s aretací, ovládaný manuálně - pákou

Specifikace elektrických prvků liniového schématu

- ODBLOKOVAT – spínací kontakt – tlačítko pro odblokování funkce otevírání
- K1 – elektromagnetické relé, spínací kontakty relé
- Y1 – cívka elektromagnetu blokovacího rozváděče 1.12

Popis funkce systému:

Vysouváním pístu pneumatického válce 1.0 je realizováno otevírání dveří a naopak zasouváním se uskutečňuje zavírání.

Bezpečnostní ventil (BV), který je umístěn bezprostředně za jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu (JUV), slouží pro nouzové odpojení tlakového vzduchu od celého obvodu. K tomuto ventilu mají přístup pouze oprávněné osoby. U následujícího popisu funkce obvodu předpokládejme, že bezpečnostní ventil BV se nachází v otevřené poloze.

Funkce otevírání:

Stlačením aretačního tlačítka „ODBLOKOVAT“, které je oprávněn ovládat pouze strojvedoucí vlaku, je přes pomocné relé K1 aktivován elektromagnet Y1, přesouvající rozváděč 1.12 do otevřené polohy a současně rozváděč 1.19 do polohy uzavřené. Rozváděč 1.12 slouží jako blokovací zařízení, znemožňující otevření dveří kdykoliv je to nežádoucí. Např. v nebezpečné situaci (při jízdě vlaku), k čemuž by mohlo dojít po stisknutí tlačítka rozváděče (ventilu) 1.2 nebo 1.4, v případě odstranění tohoto blokovacího ventilu z obvodu. Oproti tomu rozváděč 1.19 plní bezpečnostní funkci a to uzavírání dveří po deaktivaci blokovacího tlačítka v případě, že se dveře nacházejí v otevřené poloze. Rozjezd vlaku s otevřenými dveřmi by díky této funkci tedy neměl nastat.

Ventily 1.2 a 1.4 představují tlačítka, určená pro cestující, sloužící k otevírání dveří, přičemž jedno je umístěno v interiéru vozidla a druhé na venkovní straně dveří vlaku.

Po přestavení blokovacího rozváděče 1.12 a stisknutí tlačítka jednoho z otevíracích ventilů 1.2 nebo 1.4, je vyslán tlakový signál, přes logický ventil OR 1.22 a blokovací rozváděč 1.12 k logickému ventilu AND 1.24. Ventil AND provádí funkci logického součinu, čímž je zajištěno propuštění signálu pro otevření dveří pouze v případě, jsou-li dveře zavřené, neboli pneumatický válec v základní, zasunuté poloze. Polohu uzavřených dveří, nikoli polohu zasunuté pístnice válce 1.0, detekuje koncový spínač 1.10 za pomoci kladky S2, po jejíž stlačení ventil propouští tlakový signál, vedený k druhému vstupnímu přípoji ventilu AND 1.24. Zároveň je tímto signálem aktivován tlakový snímač ST1, jenž podává informaci o uzavření dveřních křídel. Současným působením přivedených signálů stlačeného vzduchu na oba vstupní porty AND ventilu, je signál dále propuštěn a veden skrz ventil OR 1.26 k řídicímu portu hlavního rozváděče 1.1, čímž způsobí přestavení jeho šoupátka do druhé polohy. To má za následek přivedení tlakového vzduchu přes obtok škrticího ventilu 1.01 do levé komory pneumatického válce a následné vysouvání pístnice, přičemž vzduch z pravé komory válce je tlačěn přes škrticí ventil 1.02, jehož nastavení udává rychlost vysouvání pístnice válce.

Pro opětovné zablokování funkce otevírání dveří tlačítka 1.2 a 1.4, je nutné vypnout aretační tlačítko „ODBLOKOVAT“. Tím se deaktivuje relé K1, což způsobí odpojení přívodního napětí od cívek elektromagnetů Y1. Rozváděč 1.12 se silou pružiny přestaví do základní polohy a otevírání dveří je tímto znovu zablokováno.

Nouzové otevírání dveří:

Pro nouzové otevírání dveří slouží aretační tlačítko rozváděče 1.6, po jehož stisknutí je vyslán tlakový signál, přes logické ventily 1.20 a 1.26, přímo na řídicí port hlavního rozváděče 1.1 a přestaví jeho šoupátko do polohy pro vysouvání pístu pneumomotoru.

Taktéž je od rozváděče nouzového otevírání 1.6 veden tlakový signál k řídicímu přípoji rozváděče 1.21, který přestaví jeho polohy a tím odvzdušní pravý řídicí port hlavního rozváděče 1.1. Zároveň je znemožněna funkce zavíracích tlačítek 1.3 a 1.5. Znovuzavření dveří je tedy umožněno až po vypnutí tlačítka rozváděče 1.6.

Funkce zavírání:

Zavírání dveří neboli zasouvání pístu pneumatického válce je realizováno zmáčknutím ovládacího tlačítka rozváděče 1.3 nebo 1.5. Stejně jako u funkce otevírání i zde jsou rozváděče dva, jeden pro ovládání z interiéru vozidla a druhý z exteriéru.

Zmáčknutím tlačítka jednoho z těchto dvou rozváděčů je přes ventil OR 1.13 přiveden tlakový impuls na levý vstupní přípoj logického ventilu AND 1.15. Na pravý vstupní přípoj tohoto ventilu je připojeno vedení od koncového spínače 1.7, jehož kladka S3 otevírá ventil vždy při úplném vysunutí pístu pneumomotoru a tedy detekuje otevřený stav dveří. Jsou-li současně přivedeny signály od těchto ventilů na oba vstupní porty prvku AND 1.15, je signál dále propuštěn přes OR ventil 1.25 a rozváděč 1.21 na levý řídicí přípoj rozváděče 1.9. Tento impuls přestaví rozváděč do otevřené polohy, protože protilehlý (pravý) řídicí přípoj, kterým je přestavován do polohy uzavřené, je odvzdušněný, jelikož snímá tlak z větve vedoucí od výstupního přípoje 2, hlavního rozváděče 1.1 do pneumomotoru a ta je v případě vysouvání jako odpadní.

Přestavením šoupátka rozváděče 1.9 je přiveden stlačený vzduch na řídicí přípoj pneumatického časového relé 1.11, ale také k tlakovému snímači ST2, který slouží pro aktivaci výstražného signalizačního zařízení, varující osoby v blízkosti dveří o následném zavírání. Pneumatické časové relé 1.11, umožňující nastavení časového zpoždění zavírání dveří, tedy slouží jako bezpečnostní prvek, neboť v případě zmáčknutí tlačítka pro zavírání v momentě, kdy se v prostoru dveří nachází nějaká osoba, je nejprve aktivována výstražná signalizace a díky danému časovému relé se dveře začnou zavírat až po určitém časovém zpoždění. Jinými slovy, systém dává cestujícím varovný signál a čas pro urychlené opuštění dveřního prostoru dříve, než se dveře začnou zavírat.

Po uplynutí časového zpoždění relé, je přiveden tlakový signál na druhý (pravý) řídicí port rozváděče 1.1, a jelikož po odsunutí pístu válce z koncové polohy byl protilehlý (levý) port odvzdušněn, šoupátko hlavního rozváděče se přestaví do polohy zasouvající pneumomotor. V tomto případě vzduch obtéká škrticí ventil 1.02, plní pravou komoru válce a z komory levé je tlačěn přes škrticí ventil 1.01.

Ihned po přestavení hlavního rozváděče 1.1 se přívodní vedení pro zasouvání pístu válce natlakuje a skrze připojené vedení je tento tlak přiveden i na pravý řídicí port rozváděče 1.9, což má za následek jeho přestavení do uzavřené polohy. Tím se odzdušní řídicí přípoj k tlakovému snímači ST2 a k pneumatickému časovému relé a následně i řídicí přípoj k hlavnímu rozváděči 1.1. Zasunutím pístu válce do koncové polohy je dokončen celý pracovní cyklus a systém je připraven k opětovné funkci.

Funkce systému detekce překážky:

Systém detekce překážky je bezpečnostní systém zajišťující automatické znovuotevření dveří v případě, že při zavírání dveřní křídlo/křídla sevřelo/sevřela procházející osobu nebo předmět umístěný v oblasti dveří.

Systém se skládá z rozváděče 1.14 plnicí funkci koncového spínače, z diferenčního tlakového snímače 1.16, spínacího a odzdušňovacího ventilu 1.18 a rozváděče 1.8.

Tlakový snímač 1.16 snímá tlakový spád mezi levou a pravou komorou pneumomotoru. Dojde-li k nárůstu tlakového spádu mezi jednotlivými komorami na tlak větší, než je spínací tlaková diference, nastavená přítlačnou silou pružiny, přesune se píst snímače 1.16 a tím dojde k přestavení spínače 1.18 a vyslání tlakového signálu. Vyslání signálu od spínače 1.18 může nastat pouze v případě zasouvání pístu válce, tedy systém funguje jen při zavírání dveří.

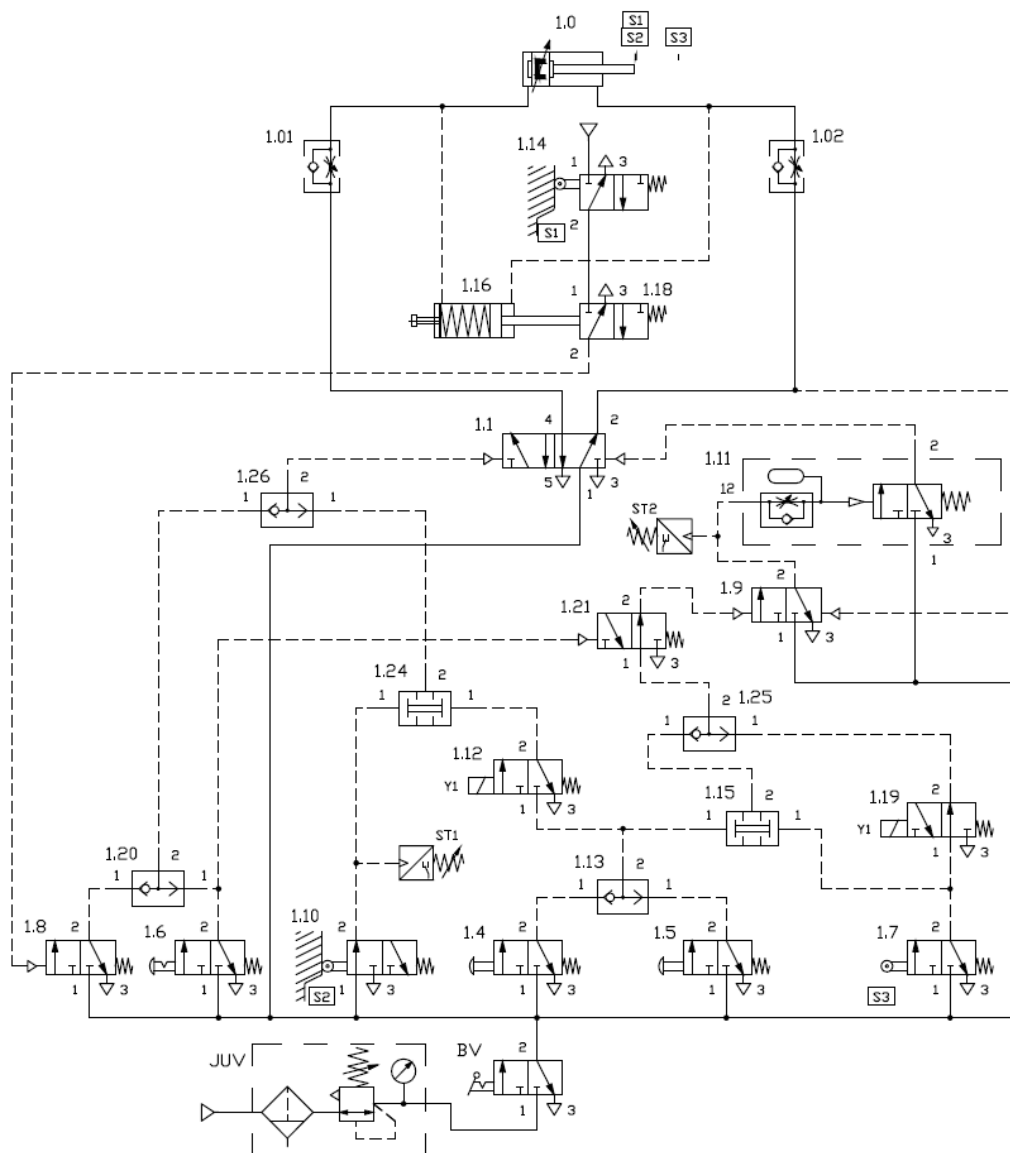
Nárůst tlakového spádu mezi komorami pístu, potřebného pro sepnutí spínače, vznikne buď v případě, že při zavírání dojde k sevření osoby nebo předmětu anebo při dojíždění pístu do koncové (zasunuté) polohy, kdy probíhá tlumení. K tomu, aby nedocházelo ke znovuotevření v případě dojíždění do koncové polohy, slouží koncový spínač (rozdávěč) 1.14, jenž po sepnutí kladky S1 zamezí přívod tlakového vzduchu ke spínači 1.18 a odzdušní jeho vstupní vedení. Kladka S1 rozváděče 1.14 musí být umístěna v takové vzdálenosti od koncové polohy pístu, aby došlo k jejímu sepnutí dříve, než píst najede na tlumící prvek pneumomotoru, neboť již při začátku tlumení dochází k nárůstu tlakové diference mezi komorami válce a ta by mohla způsobit aktivaci signálu pro znovuotevření.

V případě sevření osoby, či předmětu dojde po přesunutí pístu snímače 1.16 k vyslání signálu od spínače 1.18, na řídicí port rozváděče 1.8 a k přestavení jeho polohy šoupátka. Tímto je vyslán signál přes logické ventily 1.20 a 1.26 k levému řídicímu portu hlavního rozváděče 1.1. Při zasouvání pístu pneumomotoru, byl protilehlý řídicí port rozváděče 1.1 odzdušněn a vyslaný signál od rozváděče 1.8 přestaví polohu hlavního rozváděče, čímž uskuteční tak znovuotevření dveří.

Ihned po přestavení hlavního rozváděče do polohy pro vysouvání válce, dochází ke změně tlakového spádu na snímači 1.16 a tedy k přestavení jeho pístu, následnému přerušení výstupního signálu od koncového spínače 1.18 a k odzdušnění řídicího vedení rozváděče 1.8.

Varianta 2 – provedení se dvěma tlačítky

Varianta 2 se liší od varianty 1 v počtu tlačítek (ventilů) pro otevírání a zavírání dveří a jejich funkci. Na rozdíl od varianty 1 kde byly 2 tlačítka jen pro otevírání a 2 tlačítka jen pro zavírání, zde jsou celkem umístěné pouze 2 tlačítka a každé z nich slouží jak pro otevírání, tak i pro zavírání dveří. To je zajištěno rozvětvením vedení od logického ventilu OR 1.13 k blokovacímu rozváděči 1.12 a logickému ventilu AND 1.15.



Obr. 4.3 Pneumatické schéma obvodu pohonu dveřního systému - varianta 2

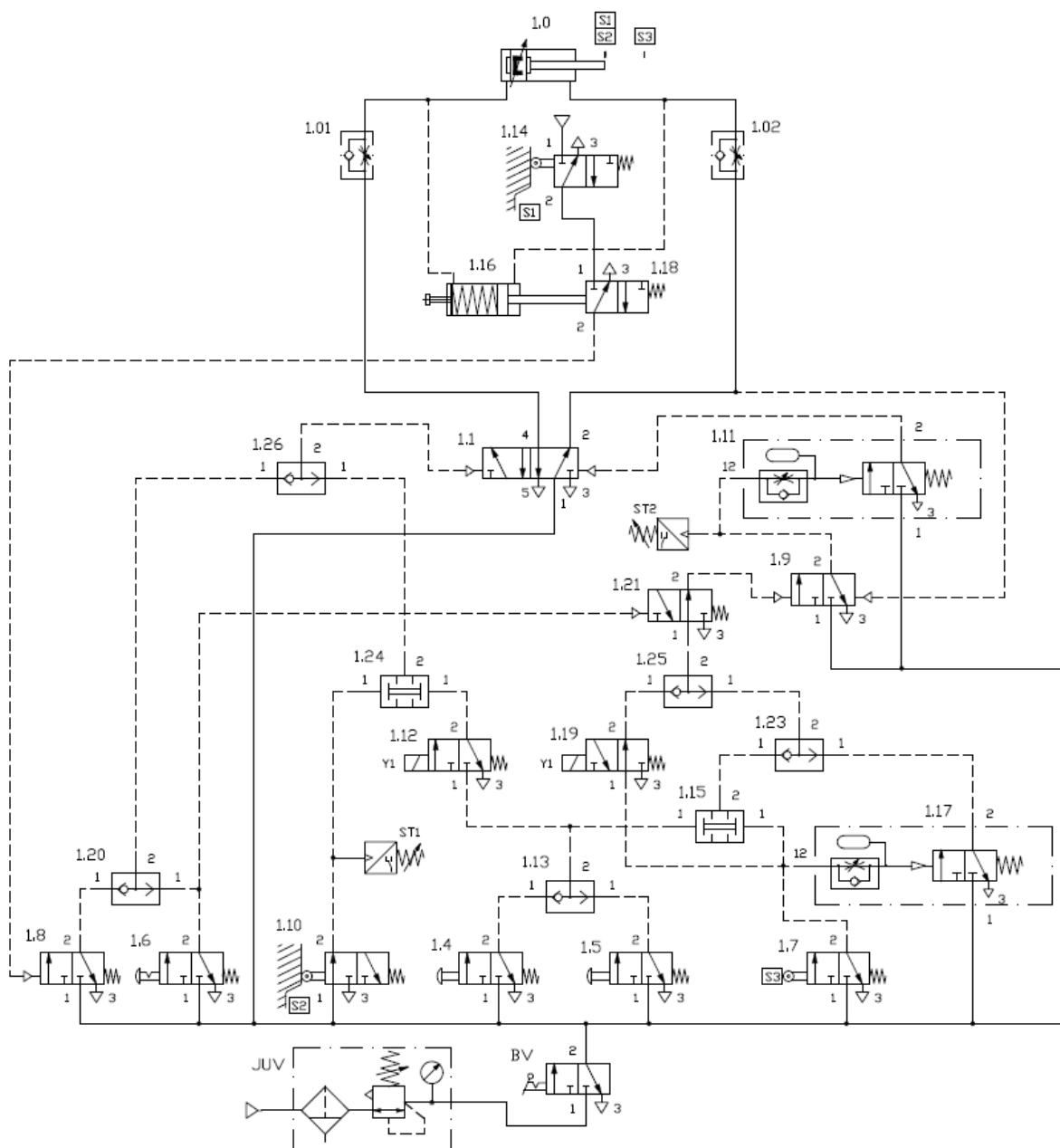
Elektrické liniové schéma této varianty, je totožné s liniovým schématem předchozí varianty 1, a tedy ovládání elektromagnetů rozváděčů 1.12 a 1.19 je uskutečňováno tlačítkem „ODBLOKOVAT“ (viz Obr. 4.2 Elektrické liniové schéma k pneumatickému obvodu pohonu dveřního systému – varianty 1 Obr. 4.2).

Z obvodu varianty 1 tedy byly odstraněny následující prvky:

- 1.2, 1.3 – Monostabilní rozváděče 3/2 ovládané tlačítkem, v klidové poloze uzavřené (NC)
- 1.22 – Logický ventil OR – dvojitý jednosměrný ventil se dvěma vstupy

Jediný prvek, který byl k obvodu přidán je T-kus šroubení.

Varianta 3.1 – automatické zavírání dveří



Obr. 4.4 Pneumatické schéma obvodu pohonu dveřního systému - varianta 3.1

Elektrické liniové schéma této varianty pneumatického obvodu pohonu dveřního systému, je taktéž totožné s liniovým schématem varianty 1, a tedy ovládání elektromagnetů rozváděčů 1.12 a 1.19 je uskutečňováno tlačítkem „ODBLOKOVAT“ (viz Obr. 4.2).

Přidané pneumatické prvky oproti variantě 2:

- 1.17 - Časové pneumatické relé se zpožděním na náběžné hraně
- 1.23 – Logický ventil OR – dvojitý jednosměrný ventil

I v tomto následujícím popisu funkce budeme předpokládat, že bezpečnostní ventil BV se nachází v otevřené poloze.

Popis funkce obvodu:

Varianta 3 pneumatického obvodu pohonu dveřního systému je ve srovnání s variantou 2 doplněna o systém automatického zavírání dveří. Ten se sestává z druhého pneumatického časového relé 1.17 a logického ventilu OR.

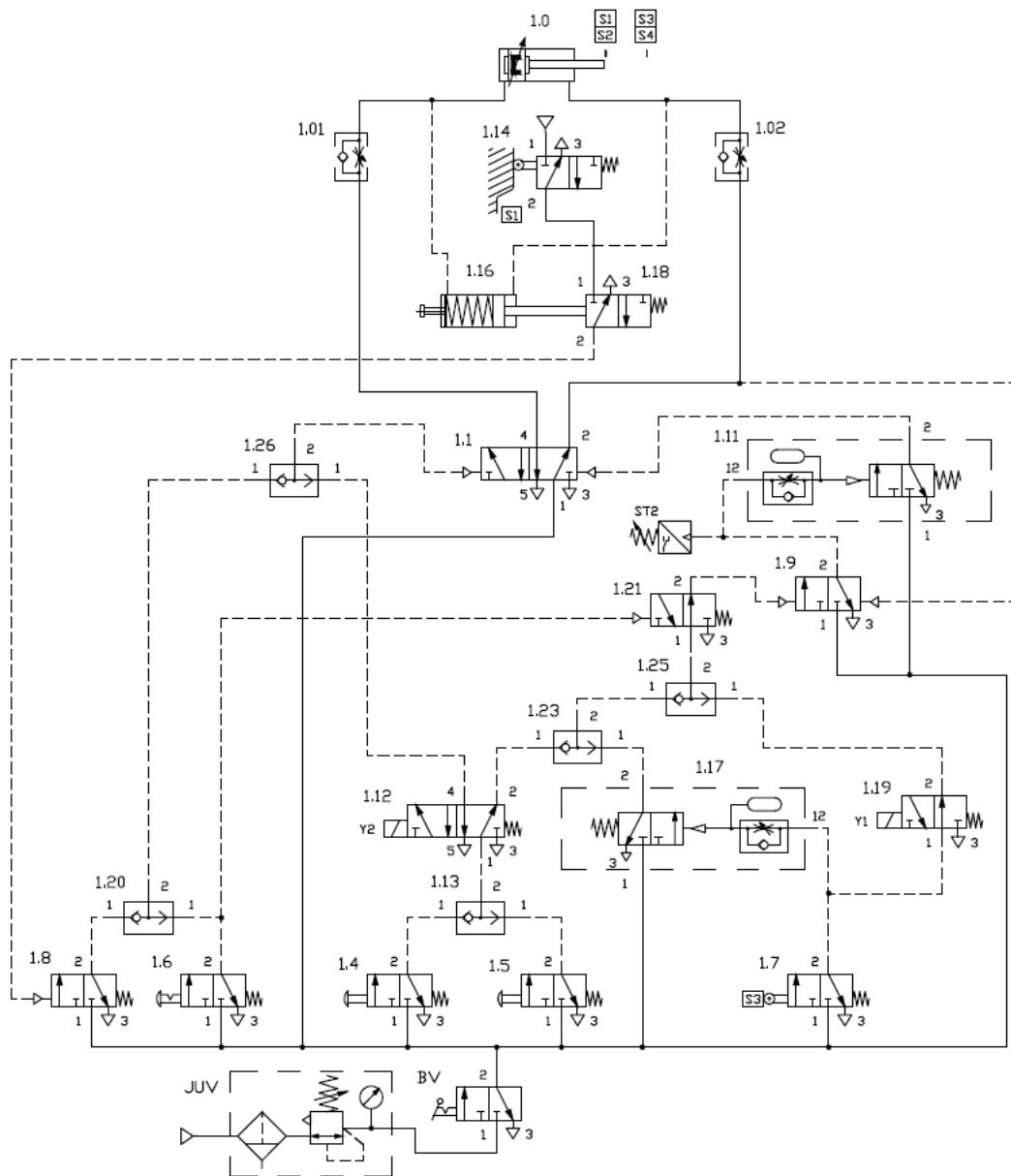
Funkce systému automatického zavírání je následující: jakmile dojde k vysunutí pístnice pneumomotoru, neboli otevření dveří, sepne se kladka S3 koncového spínače 1.7, čímž přestaví rozváděč do otevřené polohy a tlakový vzduch začne plnit vzdušník pneumatického relé 1.17. Zároveň je ale také signál od ventilu 1.7 veden na pravý vstupní přípoj prvku AND 1.15 a na vstup rozváděče 1.19. Tento rozváděč je ovládán spolu s rozváděčem 1.12 blokovacím tlačítkem „ODBLOKOVAT“ a je-li tlačítko zapnuto, rozváděč 1.19 je v uzavřené poloze a nedochází tak k propuštění signálu od koncového spínače 1.7

Naplněním vzdušníku na požadovaný tlak se relé 1.17 aktivuje a vyšle tlakový signál skrz logické prvky OR 1.23 a 1.25 a dále přes odvzdušňovací ventil 1.21 na levý řídicí port rozváděče 1.9. Následně dojde k přestavení jeho polohy a k vyslání signálu ke snímači tlaku ST2, aktivující výstražnou signalizaci a k řídicímu přípoji pneumatického relé 1.11. Po sepnutí relé, vyslaný signál přestaví hlavní rozváděč 1.1 do polohy pro zasouvání válce. Jakmile se válec začne zasouvat, uvolní se kladka S3, vratná pružina přestaví rozváděč 1.7 do uzavřené polohy a řídicí přípoj pneumatického relé 1.17 se odvzdušní. To způsobí deaktivaci relé 1.17 a postupné odvzdušnění levého řídicího přípoje rozváděče 1.9. Tímto je umožněno odvzdušnění pravého řídicího portu hlavního rozváděče 1.1 a to přestavením rozváděče 1.9 do polohy pro deaktivaci ST1 a relé 1.11.

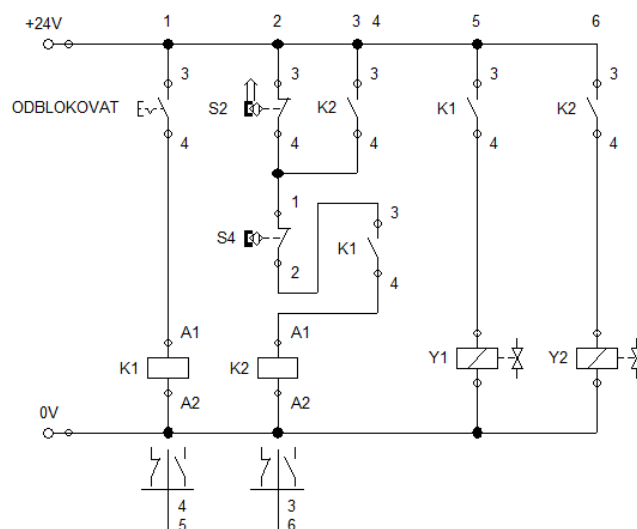
V případě vypnutí blokovacího tlačítka dojde pomocí vratné pružiny k přestavení rozváděče 1.19 do polohy otevřené a jsou-li dveře otevřené (je-li kladka S3 sepnutá), dojde k jejich uzavření.

Jak již bylo uvedeno u varianty 1, rozváděč 1.21 slouží k udržení odvzdušněného pravého řídicího přípoje hlavního rozváděče 1.1, při použití ventilu nouzového otevírání 1.6. Eliminuje tedy funkci automatického zavření, kdy dojde k sepnutí kladky S3 rozváděče 1.7.

Varianta 4 – řešení s bezkontaktními snímači polohy pístu válce



Obr. 4.6 Pneumatické schéma obvodu pohonu dveřního systému - varianta 4



Obr. 4.7 Elektrické liniové schéma k pneumatickému obvodu pohonu dveřního systému – varianty 4

Specifikace nových prvků v obvodu:

- 1.12 – Monostabilní rozváděč 5/2 ovládaný elektromagnetem Y2, slouží jako blokovací ventil.
- S2 – Spínací kontakt bezdotykového snímače zasunuté polohy pístu
- S4 – Rozpínací kontakt bezdotykového snímače vysunuté polohy pístu
- K2 – elektromagnetické relé, spínací kontakty relé
- Y2 – cívka elektromagnetu blokovacího rozváděče 1.12

Změny oproti variantě 3:

- Odstranění logických ventilů AND a koncového spínače 1.10
- Změna konstrukčního provedení rozváděče 1.12 na pěticestrý/dvoupolohový (5/2), který určuje směr průtoku vyslaného tlakového signálu od ovládacího tlačítka.
- Osazení koncových poloh pneumatického válce bezdotykovými snímači S2 a S4.

Popis funkce systému:

Sepnutím blokovacího tlačítka „ODBLOKOVAT“ dojde k aktivaci elektromagnetického relé K1 a následně k přestavení rozváděče 1.19 do uzavřené polohy a to z důvodu vyřazení funkce okamžitého uzavření dveří ihned po sepnutí koncového spínače 1.7.

Nachází-li se válec v zasunuté poloze, jsou kontakty bezdotykových snímačů S2 a S4 v sepnuté poloze a při současně sepnutém blokovacím tlačítku je aktivováno relé K2 a tedy i elektromagnet Y2. Tímto je přestaven rozváděč 1.12 a odblokována funkce otevírání dveří pomocí tlačítka 1.4 nebo 1.5. Začne-li se válec vysouvat, deaktivuje se kontakt snímače S2, avšak relé K2 zůstává stále aktivní díky přidržovacímu kontaktu K2. Deaktivace elektromagnetu Y2 nastane až po úplném vysunutí pístu pneumomotoru a to díky rozepínacímu kontaktu spínače S4. Tím je umožněno uzavření dveří za pomoci tlačítek 1.4 nebo 1.5, neboť po deaktivaci elektromagnetu Y2 vratná pružina přestavila rozváděč do výchozí polohy.

Vypnutím blokovacího tlačítka jsou všechny kontakty relé rozpojeny a tedy i deaktivovány elektromagnety Y1 a Y2 rozváděčů 1.12 a 1.19. V případě, že dveře budou právě v otevřené poloze, ihned po deaktivaci blokovacího tlačítka dojde k jejich uzavření a to z důvodu sepnuté kladky S3 rozváděče 1.7 a otevřené polohy rozváděče 1.19.

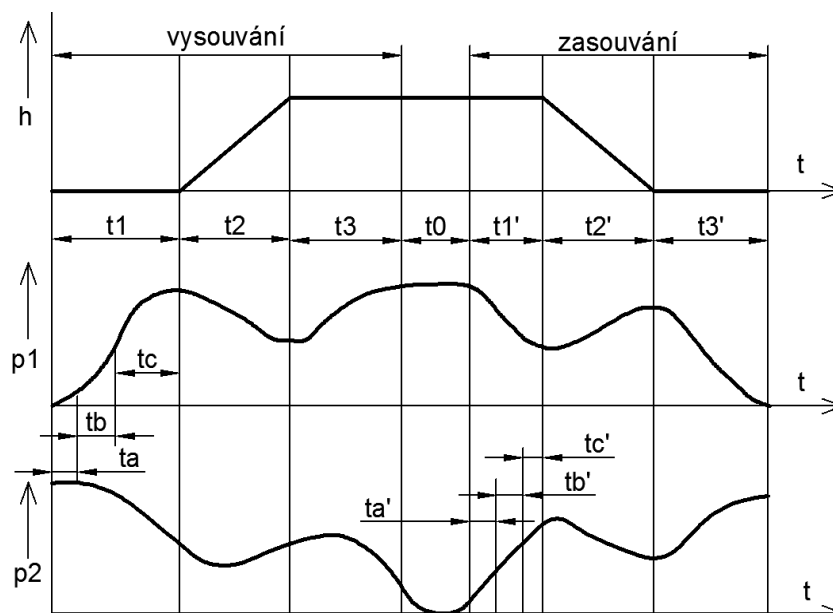
Jako **hlavní (primární) variantu** pneumatického systému pohonu dveří je z uvedených návrhů zvolena **varianta 3.1** a podle této varianty budou dále navrhovány jednotlivé prvky, ze kterých bude možné systém reálně zkompletovat.

4.2. Návrh hlavních pneumatických prvků obvodu

Pneumatický válec

Dříve než začneme s výpočty, je důležité si uvědomit, že v důsledku stlačitelnosti vzduchu a proměnlivosti třecího součinitele ve fázi rozběhu, jsou průběhy parametrů, jako je např. rychlost, zrychlení, síla přímočarého pneumomotoru více či méně kmitavé.

Z níže uvedeného grafického vyobrazení průběhu tlaku p_1 a p_2 při procesu vysouvání a zasouvání pneumatického válce (viz. Obr. 4.8) je patrné, že nárůst či pokles tlaku v jednotlivých komorách při dané pracovní operaci není lineární. To má za následek i nelinearitu v rychlosti či zrychlení pohybu pístu válce. Při výpočtech však budeme předpokládat, že zrychlení pístu při rozběhu nebo brždění pneumomotoru bude konstantní a rychlost v ustáleném pohybu taktěž.



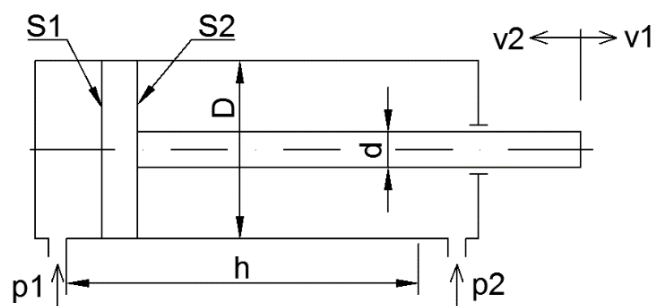
Obr. 4.8 Průběh dráhy a tlaků pro jeden pracovní cyklus pneumatického válce [2]

t_1, t_1' – čas od zapnutí rozváděče do počátku rozběhu pístu; t_2, t_2' – čas od počátku zdvihu do konce zdvihu; t_3, t_3' – čas od ukončení zdvihu do vzrůstu tlaku na maximální hodnotu; t_0 – doba klidu motoru; t_a, t_a' – první okamžik tlakové vlny stlačeného vzduchu; t_b, t_b' – průběh otevírání rozváděče; t_c, t_c' – doba naplňování prostoru (komory) motoru.

Pro výpočty budeme předpokládat pracovní médium jako ideální plyn.

Zadané parametry:

Pracovní tlak ve válci:	$p = 0,4 \text{ [MPa]}$
Pracovní síla od zátěže:	$F_z = 300 \text{ [N]}$
Pracovní rychlost:	$v = 0,5 \text{ [m/s]}$
Pracovní zdvih válce:	$h = 965 \text{ [mm]}$



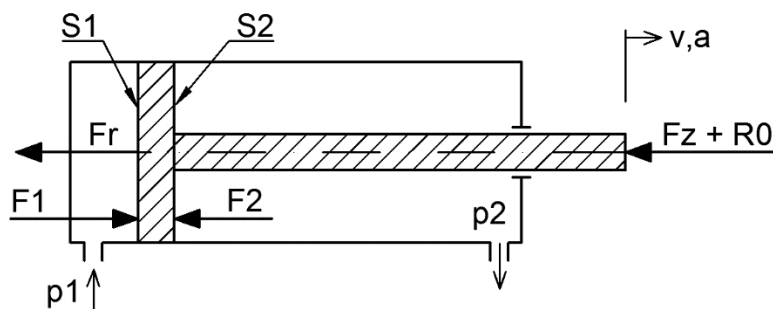
Obr. 4.9 Nákres pneumatického válce a jeho parametrů [2]

S – plocha pístu, p – tlak, D – průměr pístu, d – průměr pístnice, v – rychlost pohybu pístu, h – zdvih válce

Výpočet velikosti průměru pístu

Abychom mohli navrhnout pneumatický válec s vhodným průměrem pístu, je potřeba provést rozbor silových účinků při rozběhu.

Silová rovnováha při rozběhu motoru:



Obr. 4.10 Schéma rovnováhy sil při práci pneumatického válce

Kde: F1 – síla způsobena tlakem p1 působící na plochu pístu S1

F2 – síla od tlaku p2 působící na plochu mezikruží S2

Fr – rozběhová síla daná zrychlením pohybujících se hmotností pístu, pístnice a připojených zatížení redukováných na pístnici,

Fz – pracovní síla od zátěže,

R0 – síla způsobená součet pasivních odporů od tření těsnění pístu a pístnice

a – zrychlení pístu

Rovnice silové rovnováhy pro rozběh motoru:

$$m \cdot a = \sum F \quad (4.1)$$

$$F_1 = F_r + F_z + R_0 + F_2 \quad (4.2)$$

$$p_1 \cdot S_1 = m \cdot \frac{dv}{dt} + F_z + R_0 + p_2 \cdot S_2 \quad (4.3)$$

Kde: m – hmotnost pístu, pístnice a připojených zatížení, redukováných na pístnici

dv/dt = a – zrychlení pístu

Pro výpočet průměru pístu budeme předpokládat následující zjednodušení:

- Výfuková komora válce bude odvdzdušněna a tedy přetlak p_2 bude roven nule.
- Jelikož neznáme údaje o hmotnosti pístu, pístnice a připojených zatížení, zanedbáme člen rozběhové síly

Rovnice silové rovnováhy bude tedy vypadat následovně:

$$p_1 \cdot S_1 = F_z + R_0 \quad (4.4)$$

Pasivní odpory od těsnění [2]:

Z experimentálního výzkumu různých typů těsnění je zjištěno, že při začátku pohybu pístu, nebo při malých rychlostech, kde se uplatňuje přechod z kluzného na kapalinné tření, se vyskytuje oblast zvýšeného odporu R_0 proti pohybu.

Pro výpočet pasivního odporu R_0 se s dostatečnou přesností užívá vztah:

$$R_0 = a_R \cdot F_z = 0,2 \cdot 300 = 60 \text{ [N]} \quad (4.5)$$

- Součinitel pro výpočet pasivních odporů těsnění volím: $a_R = 0,2$ [2]

Teoretická plocha pístu:

$$S_{1t} = \frac{F_z + R_0}{p_1} = \frac{300 + 60}{4 \cdot 10^5} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.6)$$

Teoretický průměr pístu:

$$D_t = \sqrt{\frac{S_{1t} \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi}} = 0,03385 \text{ [m]} \quad (4.7)$$

Předběžně navrhuj pneumatický válec o parametrech:

Průměr pístu: $D = 40 \text{ [mm]}$

Průměr pístnice: $d = 16 \text{ [mm]}$

Skutečná plocha pístu:

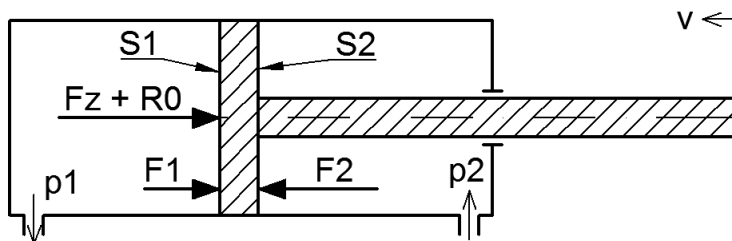
$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 1,257 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.8)$$

Skutečná plocha mezikruží:

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,04^2 - 0,016^2) = 1,056 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4.9)$$

Kontrolní výpočet pro zasouvání pístu:

Abychom ověřili, že navržený válec je schopen vyvinout požadovanou pracovní sílu 300 N i v případě zasouvání, provedeme následující kontrolní výpočet. Při výpočtu zahrneme i sílu F_1 vyvinutou od protitlaku p_1 působící na plochu S_1 .



Obr. 4.11 Schéma rovnováhy sil při zasouvání pístu

$$p_2 \cdot S_2 = F_z + R_0 + p_1 \cdot S_1 \quad (4.10)$$

- Předpokládaný protitlak v levé komoře válce při zasouvání pístu volím $p_1 = 0,1$ [MPa]

$$F_z = p_2 \cdot S_2 - R_0 - p_1 \cdot S_1 \quad (4.11)$$

$$F_z = 4 \cdot 10^5 \cdot 1,056 \cdot 10^{-3} - 60 - 10^5 \cdot 1,257 \cdot 10^{-3} = 236,6$$
 [N]

- Z důvodu nesplnění podmínky kontrolního výpočtu navrhuji zvolit velikost pneumatického válce o řád větší.

Volba pneumatického válce

Pro pneumaticky poháněný dveřní systém navrhuji použít pneumomotor P1D-X050ML-0965 od firmy Parker [15], který je speciálně určený pro provoz v nízkých teplotách.

Jedná se o dvojčinný pneumatický válec s jednostranně vyvedenou pístnicí a nastavitelným tlumením v koncových polohách. Válec má nestandardní délku zdvihu 965 mm a je opatřen zabudovaným magnetickým páskem pro snímání koncových poloh pístu.

Průměr pístu: $D = 50$ [mm]

Průměr pístnice: $d = 20$ [mm]

Plocha pístu: $S_1 = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 1,963 \cdot 10^{-3}$ [m²]

Plocha mezikruží: $S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (0,05^2 - 0,02^2) = 1,649 \cdot 10^{-3}$ [m²]

Technické parametry pneumatického válce:

- Maximální pracovní tlak: 1 [MPa]
- Pracovní teplota: od -40°C do +80°C
- Velikost závitů připojovacích portů: G1/4
- Délka tlumicí dráhy: 20 [mm]



Obr. 4.12 Navržený pneumatický válec - reálné provedení a pneumatická značka [15]

Dle požadavku pro uchycení válce oko – oko navrhují následující prvky uchycení:

Otočný držák oko MP6, typ 1C-4MMSA



Obr. 4.13 Uchycení zadního víka válce [15]

Kloubové oko AP6, typ P1C-4MRS



Obr. 4.14 Oko pro uchycení konce pístnice válce [15]

Určení potřebného průtoku vzduchu k pneumomotoru:

Výpočet průtoku vzduchu při vysouvání:

$$Q_{PM1} = S_1 \cdot v = 1,963 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 9,815 \cdot 10^{-4} [m^3/s] \quad (4.12)$$

Protože spotřeba vzduchu je závislá na tlaku a teplotě podle stavové rovnice plynů, udává se vždy přepočtená na tzv. normální (normálový) stav označovaný Q_N . Tím je rozuměno množství vzduchu, které při normálním, tj. atmosférickém tlaku $p_N = p_{atm} = 100 [kPa]$ a normální teplotě $T_N = 293 [K]$ ($20 [^\circ C]$) vyplňuje objem $1 m^3$. [2]

Přepočet průtoku na normální podmínky:

$$Q_{1N} = Q_1 \cdot \frac{p_{1,abs}}{p_{atm}} \cdot \frac{T_N}{T_1} = Q_1 \cdot \frac{p_1 + p_{atm}}{p_{atm}} \cdot \frac{T_N}{T_1} \quad (4.13)$$

Normálový průtok při minimální požadované teplotě $-25^\circ C$:

$$Q_{PM1N,min} = Q_{PM1} \cdot \frac{5 \cdot 10^5}{10^5} \cdot \frac{293}{248} = 5,8 \cdot 10^{-3} [Nm^3/s] = 348 [Ndm^3/min]$$

Normálový průtok při maximální požadované teplotě $60^\circ C$:

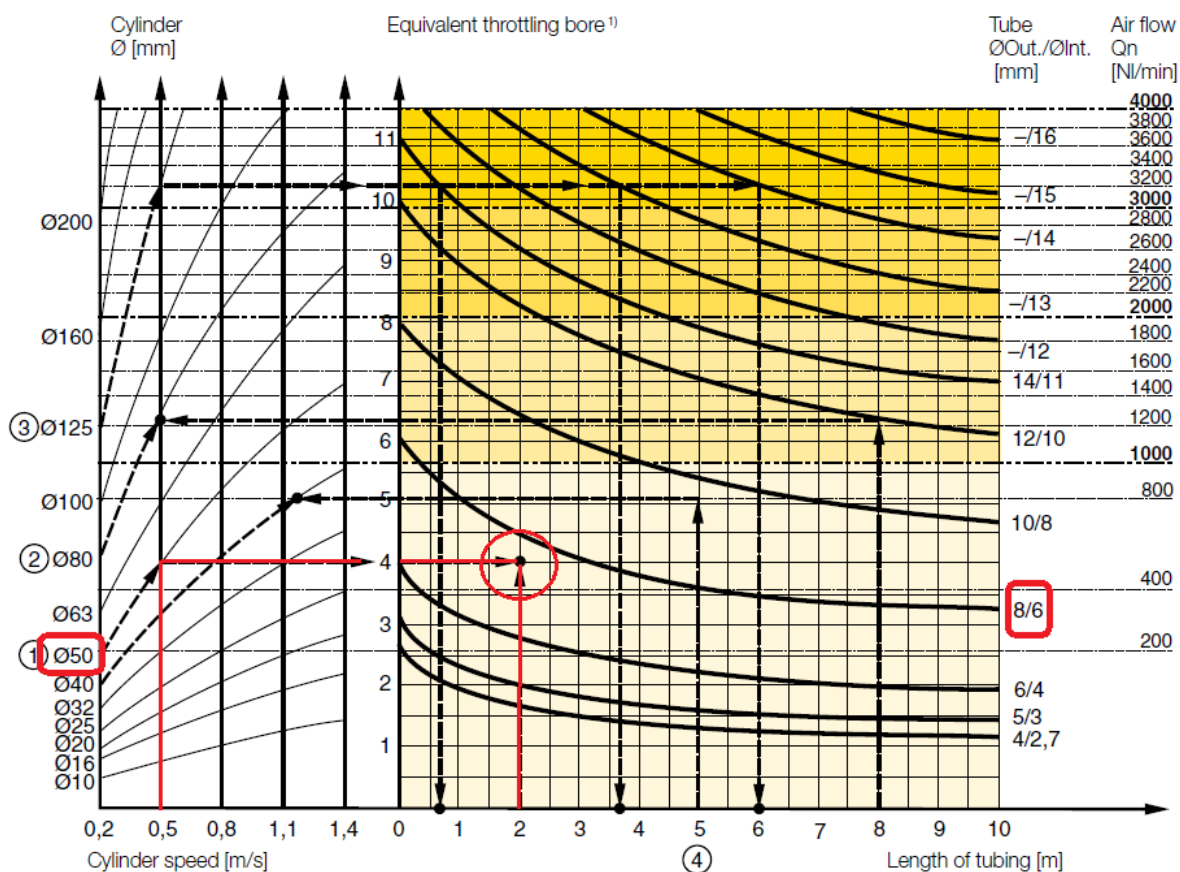
$$Q_{PM1N,max} = Q_{PM1} \cdot \frac{5 \cdot 10^5}{10^5} \cdot \frac{293}{333} = 4,318 \cdot 10^{-3} [Nm^3/s] = 259 [Ndm^3/min]$$

Za požadovaný normálový průtok do pneumatického válce budeme považovat hodnotu $Q_{PM1N,min}$.

Pneumatické vedení silového obvodu

Pneumatickým vedením silového obvodu je myšleno vedení od hlavního rozváděče 1.1 k pneumatickému válci 1.0.

Jedním ze způsobů, jak lze určit potřebnou velikost průměru pneumatického vedení k válci, je pomocí následujícího diagramu (Obr. 4.15), vytvořeného na základě zkušeností firmou Parker:



Obr. 4.15 Diagram pro návrh pneumatického vedení k danému pneumatickému válci [15]

Dle diagramu na Obr. 4.15 navrhuji pro průměr pístu válce 50 mm, rychlost pohybu 0,5 m/s a předpokládanou délku vedení do 2 m, aplikovat velikost pneumatického vedení 8/6.

Z katalogu firmy Parker [14] navrhuji použít jako pneumatické vedení pro úsek mezi hlavním rozváděčem 1.1 a škrticími ventily 1.01, 1.02 polyamidovou hadici 1025P08 04.

Technické parametry hadice:

- Vnější průměr: 8 [mm]
- Vnitřní průměr: 6 [mm]
- Minimální rádius ohybu: 25 [mm]
- Teplotní rozsah použití: od -40°C do +100°C
- Maximální tlak: 5 [MPa]
- Materiál: Polyamid (PAN)
- Normálový průtok při délce 2 [m]: $Q_{N,H} = 700 [Ndm^3/min]$



Obr. 4.16 Hadice pro pneumatické vedení [14]

Hlavní rozváděč 1.1

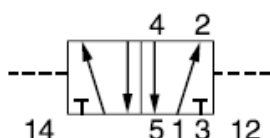
Pro funkci hlavního rozváděče 1.1 dle Obr. 4.4, volím rozváděč „Viking Xtreme“ od firmy Parker typu: P2LBX512PP. Jedná se o bistabilní pěticestrý, dvoupolohový (5/2) rozváděč, ovládaný pneumaticky [16].

Technické parametry rozváděče:

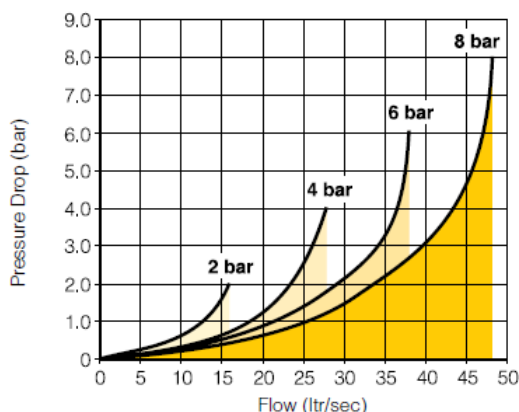
- Maximální pracovní tlak: 1,6 [MPa]
- Pracovní rozsah teplot: od -40°C do +60°C
- Velikost závitů připojovacích portů: G1/4
- Minimální tlak pro přestavení šoupátka: 0,15 [MPa]

Průtokové parametry dle ISO 6358:

- Maximální průtok: $Q_{max} = 38 [dm^3/min]$
- Jmenovitý průtok: $Q_n = 21,5 [dm^3/min]$
- Normálový průtok [15]: $Q_{N,R} = 1290 [Ndm^3/min]$
- Průtokový součinitel: $C_v = 1,33$
- Zvuková vodivost: $c = 5,4 [NI/(s * bar)]$
- Kritický poměr tlaků: $b = 0,2$



Obr. 4.17 Pneumatická značka rozváděče [14] a jeho reálné provedení [39]



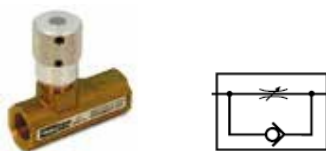
Obr. 4.18 Průtoková charakteristika rozváděče [16]

Škrticí ventil s obtokem

Z katalogu firmy Parker [14] volím škrticí ventil s obtokem typu 337B.

Technické parametry:

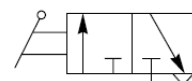
- Maximální pracovní tlak: 1,7 [MPa]
- Velikost závitů připojovacích portů: G1/4
- Pracovní rozsah teplot: od -40°C do +80°C
- Normálový průtok: $Q_{N,šV} = 780 [Ndm^3/min]$



Obr. 4.19 Škrticí ventil s obtokem - reálné provedení a pneumatická značka [14]

Bezpečnostní ventil

Jako bezpečnostní ventil (BV) z pneumatického obvodu na Obr. 4.4, volím rozváděč „Viking Xtreme“ od firmy Parker typu: P2LDX314VV. Jedná se o bistabilní třicestný, dvoupohový (3/2) rozváděč, ovládaný manuálně – pákou [14].



Technické parametry:

- | | |
|--|-------------------------------|
| - Maximální pracovní tlak: | 1,2 [MPa] |
| - Pracovní rozsah teplot: | od -40°C do +60°C |
| - Velikost závitů připojovacích portů: | G1/2 |
| - Síla pro přestavení šoupátka: | 25 [N] |
| - Normálový průtok [15]: | $Q_{N,BV} = 2658 [Ndm^3/min]$ |

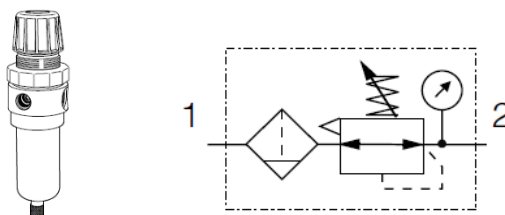
Obr. 4.20 Pneumatická značka ventilu [14]

Jednotka pro úpravu vzduchu (filtr, regulátor)

Pro úpravu čistoty vzduchu a nastavení požadovaného tlaku silového obvodu, navrhují před hlavní rozváděč 1.1 umístit jednotku pro úpravu tlakového vzduchu PB11G04DGCSS od firmy Parker – viz katalog [18]. Jednotka se skládá ze vzduchového filtru s manuálně vypouštěcím odlučovačem kondenzátu, tlakového ventilu s pojistnou funkcí a manometru.

Technické parametry:

- | | |
|--|--------------------------------|
| - Maximální pracovní tlak: | 2 [MPa] |
| - Velikost závitů připojovacích portů: | G1/2 |
| - Pracovní rozsah teplot: | od -18°C do +66°C |
| - Filtrační schopnost: | 5 μm |
| - Normálový průtok: | $Q_{N,JUV} = 1800 [Ndm^3/min]$ |



Obr. 4.21 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu - reálné provedení a pneumatická značka [14]

Pneumatické vedení pro úsek mezi BV a rozváděčem 1.1

K propojení bezpečnostního ventilu (BV) s hlavním rozváděčem 1.1 volím z katalogu [14] polyamidovou hadici 1025P08 04.

Technické parametry hadice:

- Vnější průměr: 8 [mm]
- Vnitřní průměr: 6 [mm]
- Minimální rádius ohybu: 25 [mm]
- Teplotní rozsah použití: od -40°C do +100°C
- Maximální tlak: 5 [MPa]
- Normálový průtok při délce 2 [m]: $Q_{N,H} = 700 [Ndm^3/min]$

Šroubení

Pro možnost reálného zapojení navrženého obvodu je potřeba zvolit vhodné šroubení k jednotlivým vstupům a výstupům použitých pneumatických prvků. Především je nutno vybrat šroubení pro pneumatický válec a hlavní řídicí ventil, se kterými bude dále počítána kontrola průtokové propustnosti silového obvodu. Pro výpočet průtokové propustnosti je potřeba znát normované průtoky jednotlivých prvků. K určení normovaného průtoku pro dané šroubení nám poslouží následující tabulka.

Jmenovitá světlost šroubení		K_v	Q_{Nn}
d (mm)	(“)	($m^3 \cdot h^{-1}$)	($dm^3 \cdot min^{-1}$)
2	G 1/8	0,21	230
2,5	G 1/4	0,33	367
4	G 1/8	0,85	940
6	G 1/4	1,92	2100
8	G 1/4	3,45	3700
10	G 3/8	5,33	5850
12	G 1/2	7,67	8440
16	G 1/2	13,63	14960
20	G 3/4	21,32	24500

Tabulka 1 Průtokové propustnosti šroubení [2]

Šroubení k pneumomotoru

Podle katalogu firmy Parker [14] navrhuji ke zvolenému pneumomotoru připojovací šroubení LF 3600 – chemicky poniklované mosazné šroubení, typ 3699 08 13.

Technické parametry:

- Jmenovitá světlost šroubení: 8 [mm]
- Připojovací závit: G1/4
- Teplotní rozsah použití: od -25°C do +150°C
- Maximální tlak: 2 [MPa]
- Normálový průtok: $Q_{N,\text{ŠR1}} = 3700 [Ndm^3/min]$



Obr. 4.22 Šroubení k pneumatickému válci [14]

Šroubení ke škrticím ventilům, hlavnímu rozváděči a bezpečnostnímu ventilu

Dále z katalogu [14] volím pro přípoje škrticích ventilů 1.01, 1.02, hlavního rozváděče 1.1 a výstupního přípoje bezpečnostního ventilu (BV) šroubení LF 3600 – chemicky poniklované mosazné šroubení, typ 3601 08 13.

Technické parametry:

- Jmenovitá světlost šroubení: 8 [mm]
- Připojovací závit: G1/4
- Teplotní rozsah použití: od -25°C do +150°C
- Maximální tlak: 3 [MPa]
- Normálový průtok: $Q_{N,SR2} = 3700 [Ndm^3/min]$



Obr. 4.23 Šroubení k hlavnímu rozváděči [14]

Pro napojení tohoto šroubení na výstupní přípoj bezpečnostního ventilu je nutné jej opatřit šroubením redukující velikost závitů. Z katalogu [14] volím pro tento účel použít šroubení typu 0905 13 21, které redukuje vnitřní závit ventilu z G1/2 na G1/4.



Obr. 4.24 Redukce [14]

Šroubení k jednotce úpravy vzduchu JUV

Vstupní přípoj jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu navrhuji opatřit šroubením LF 3600 typu 3601 10 21, viz [14].

Technické parametry:

- Jmenovitá světlost šroubení: 10 [mm]
- Připojovací závit: G1/2
- Teplotní rozsah použití: od -25°C do +150°C
- Maximální tlak: 3 [MPa]
- Normálový průtok: $Q_{N,SR3} = 3700 [Ndm^3/min]$

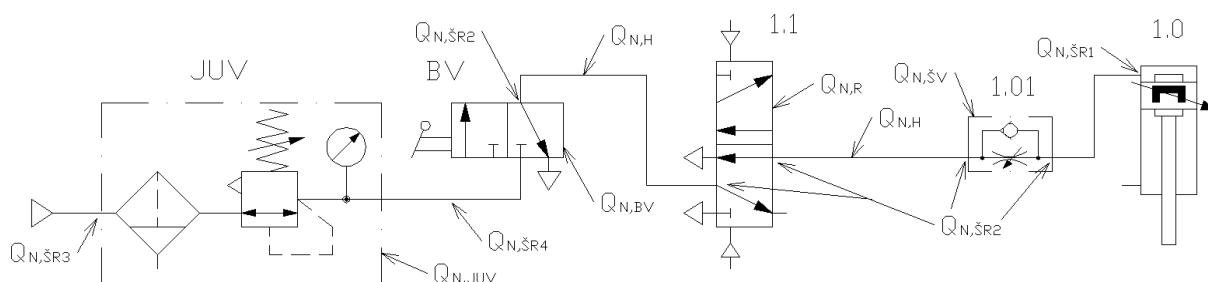
K propojení jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu (JUV) s bezpečnostním ventilem (BV) navrhuji použít šroubení typu 0901 00 21. Jedná se o propojovací šroubení s vnějšími závity G1/2 na obou koncích, jehož normálový průtok $Q_{N,SR4} = 3700 [Ndm^3/min]$



Obr. 4.25 Propojovací šroubení [14]

4.3 Kontrola průtokové propustnosti silového obvodu systému

Účelem výpočtu je zjištění průtokové propustnosti mezi zdrojem tlakového vzduchu a spotřebičem, v našem případě tedy mezi jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu (JUV) a pneumatickým válcem 1.0.



Obr. 4.26 Schéma průtokové propustnosti silového obvodu systému

$Q_{N,R}$ – normálový průtok hlavním rozváděčem 1.1, $Q_{N,ŠV}$ – normálový průtok škrticím ventilem 1.01, $Q_{N,BV}$ – normálový průtok bezpečnostním ventilem BV, $Q_{N,JUV}$ – normálový průtok jednotkou pro úpravu vzduchu JUV, $Q_{N,H}$ – normálový průtok hadicím, $Q_{N,ŠR}$ – normálový průtok šroubením

Z obrázku je zřejmé, že se jedná o sériové zapojení prvků, z toho důvodu použijeme pro výpočet ekvivalentního průtoku následující vztah.

Ekvivalentní průtok:

$$Q_{N,ekv} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{Ni}^2}}} \quad (4.14)$$

$$Q_{N,ekv} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{N,JUV}^2} + \frac{1}{Q_{N,BV}^2} + \frac{1}{Q_{N,R}^2} + \frac{1}{Q_{N,ŠV}^2} + \frac{2}{Q_{N,H}^2} + 8 \cdot \frac{1}{Q_{N,ŠR}^2}}}$$

$$Q_{N,ekv} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{1800^2} + \frac{1}{2658^2} + \frac{1}{1290^2} + \frac{1}{780^2} + \frac{2}{700^2} + \frac{8}{3700^2}}} = 368,6 \text{ [Ndm}^3/\text{min]}$$

Podmínka průtokové propustnosti:

$$Q_{N,ekv} \geq Q_{PM1N,min} \quad (4.15)$$

$$368,6 > 348$$

Podmínka průtokové propustnosti je splněna, navržené prvky silového obvodu tedy vyhovují průtokovým požadavkům.

4.4 Specifikace ostatních pneumatických prvků obvodu

Tlačítko 1.4, 1.5

Podle katalogů pneumatických prvků od firmy Parker [14], [17], navrhuji použít k funkci ovládacích tlačítek z pneumatického schématu na Obr. 4.4 ventily typu VA13-HIS4.

Specifikace prvku: Monostabilní třístavný, dvupolohový (3/2) ventil ovládaný tlačítkem, se zpětným pohybem pružinou, v klidové poloze uzavřený.

Technické parametry:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| - Pracovní rozsah teplot: | od -40°C do +70°C |
| - Maximální pracovní tlak: | 1 [MPa] |
| - Velikost závitů připojovacích portů: | G1/8 |
| - Ovládací síla při tlaku 0,6 MPa: | 32,5 [N] |
| - Jmenovitý průtok ($p_1 = 0,6 \text{ MPa}, \Delta p = 0,1 \text{ MPa}$) | $Q_n = 3,6 \text{ [dm}^3/\text{s]}$ |



Obr. 4.27 Reálné provedení a pneumatická značka ovládacího tlačítka [14]

Koncové spínače

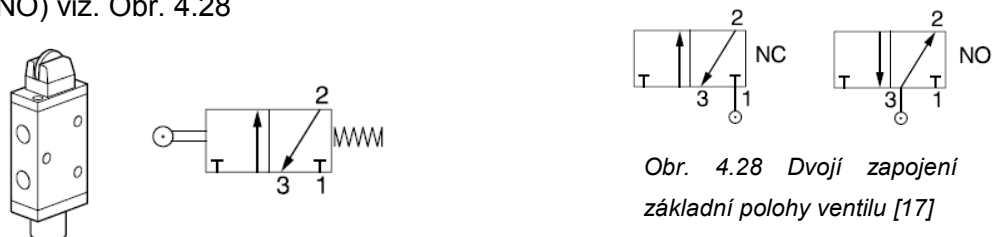
Z katalogu firmy Parker [17] navrhuji použít pro realizaci koncových spínačů 1.7, 1.10 a 1.14 ventil typu VA13-WS.

Specifikace prvku: Monostabilní třístavný, dvupolohový (3/2) ventil, mechanicky ovládaný pomocí kladky, se zpětným pohybem vyvozeným pružinou

Technické parametry:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| - Pracovní rozsah teplot: | od -20°C do +70°C |
| - Maximální pracovní tlak: | 1 [MPa] |
| - Velikost závitů připojovacích portů: | G1/8 |
| - Ovládací síla při tlaku 0,6 MPa: | 32,5 [N] |
| - Jmenovitý průtok ($p_1 = 0,6 \text{ MPa}, \Delta p = 0,1 \text{ MPa}$) | $Q_n = 3,6 \text{ [dm}^3/\text{s]}$ |

Ventil lze zapojit buď do základní polohy uzavřený (Normal close - NC) anebo otevřený (Normal open - NO) viz. Obr. 4.28



Obr. 4.28 Dvojitá zapojení základní polohy ventilu [17]

Obr. 4.29 Pneumatická značka a reálné provedení koncového spínače [17]

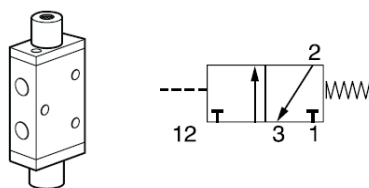
Ventil 1.8, 1.21

Pro realizaci funkcí ventilů 1.8 a 1.21 z navrženého obvodu (viz Obr. 4.4), navrhuji z katalogu firmy Parker [17] použít ventily typu VA13-AS.

Specifikace prvku: Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný pneumatický. Podle způsobu zapojení může být v klidové poloze uzavřený nebo otevřený.

Technické parametry:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| - Pracovní rozsah teplot: | od -20°C do +70°C |
| - Maximální pracovní tlak: | 1 [MPa] |
| - Velikost závitů připojovacích portů: | G1/8 |
| - Minimální ovládací tlak: | 0,4 [MPa] |
| - Jmenovitý průtok ($p_1 = 0,6 \text{ MPa}, \Delta p = 0,1 \text{ MPa}$) | $Q_n = 3,6 \text{ [dm}^3/\text{s]}$ |



Obr. 4.30 Reálné provedení a pneumatická značka ventilu [17]

Pro prvek 1.9 volím tentýž typ ventilu, ale v provedení bistabilním VA13-AA.

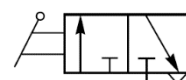
Ventil nouzového otevírání dveří (1.6)

Pro nouzové otevírání dveří volím z katalogu firmy Parker [16] ventil typu P2LAX311VV.

Specifikace prvku: Bistabilní 3/2 rozváděč ovládaný manuálně pákou.

Technické parametry:

- | | |
|--|-------------------|
| - Pracovní rozsah teplot: | od -40°C do +60°C |
| - Maximální pracovní tlak: | 1,6 [MPa] |
| - Velikost závitů připojovacích portů: | G1/8 |
| - Úhel změny polohy ventilu: | 20° |
| - Ovládací síla: | 9 [N] |



Obr. 4.31 Pneumatická značka ventilu [16]

Pneumatické vedení řídicího obvodu

K propojení prvků řídicího pneumatického obvodu volím z katalogu firmy Parker [14] polyamidovou hadici 1025P04 04 27.

Technické parametry:

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| - Vnější průměr: | 4 [mm] |
| - Vnitřní průměr: | 2,7 [mm] |
| - Minimální radius ohybu: | 10 [mm] |
| - Teplotní rozsah použití: | od -40°C do +100°C |
| - Maximální tlak: | 5 [MPa] |
| - Materiál: | Polyamid (PAN) |

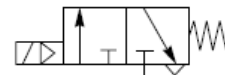
Blokovací ventil 1.12 a 1.19

Z katalogu firmy Parker [16] volím rozváděč typu P2LAX311ESHDDDB49.

Specifikace prvku: Monostabilní rozváděč 3/2 ovládaný elektromagnetem s vnitřním pneumatickým ovládním, v klidové poloze uzavřený.

Technické parametry:

- Pracovní rozsah teplot: od -40°C do $+60^{\circ}\text{C}$
- Maximální pracovní tlak: 1,6 [MPa]
- Minimální ovládací tlak: 0,32 [MPa]
- Velikost závitů připojovacích portů: G1/8
- Časy přestavení (při 0,6 MPa a 20°C): 15/45 [ms]
- Ovládací napětí elektromagnetu: 24 [V] DC



Obr. 4.32 Značka ventilu [16]

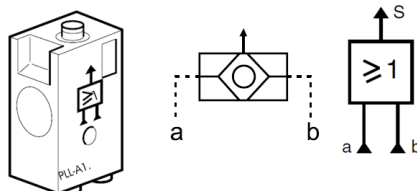
Pro blokovací ventil 1.19 navrhuji použít ovládací elektromagnet s negativní logikou, který zajistí otevřenou polohu rozváděče v klidovém stavu (NO).

Logický ventil OR

Z katalogu firmy Parker [17] volím logický ventil OR typu PLK-A11

Technické parametry:

- Pracovní tlak: 0,3 – 0,8 [MPa]
- Pracovní rozsah teplot: od -15°C do $+70^{\circ}\text{C}$
- Světlost připojovacích portů: $\varnothing 4$ [mm]



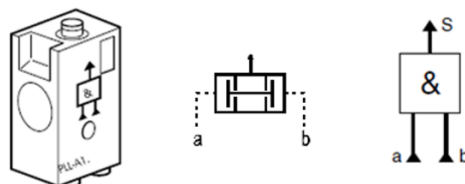
Obr. 4.33 Logický ventil OR - reálné provedení a schématické značky [17]

Logický ventil AND

Dle katalogu firmy Parker [17] navrhuji logický ventil AND typu PLL-A11.

Technické parametry:

- Pracovní tlak: 0,3 – 0,8 [MPa]
- Pracovní rozsah teplot: od -15°C do $+70^{\circ}\text{C}$
- Velikost připojovacích portů: $\varnothing 4$ [mm]



Obr. 4.34 Logický ventil AND - reálné provedení a schématické značky [17]

Pneumatické časové relé

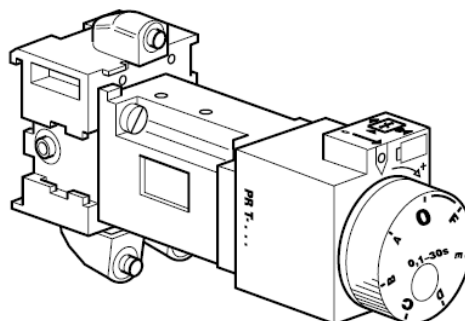
Pro umožnění funkce automatického zavírání a časového zpoždění před uzavřením dveří, volím z katalogu firmy Parker [17] pneumatické časové relé PRT-A12.

Specifikace prvku: Pneumatické časové relé se zpožděním na náběžné hraně (řízení na vstupu).

Technické parametry:

- Pracovní tlak: 0,3 – 0,8 [MPa]
- Nastavitelná doba zpoždění: 0,1 – 30 [s]
- Pracovní rozsah teplot: od -15°C do +70°C
- Velikost připojovacích portů: Ø4 [mm]

Pro napojení řídicího pneumatického vedení je nutné relé opatřit základovým elementem (blokem) PZU-A12.



Obr. 4.35 Reálné provedení pneumatického časového relé [17]

Snímač tlaku ST

Pro funkci detekce zavřených dveří a výstražnou signalizaci před zavřením, volím z katalogu firmy Parker [14] tlakový spínač KL3437.

Specifikace prvku: Pneumaticko-elektrický tlakový spínač v provedení spínacího kontaktu.

Technické parametry:

- Max. pracovní teplota: +100°C
- Spínací rozsah: od 0,1 do 1 [MPa]
- Připojovací závit na vstupu: G1/8
- Hystereze: max. 5 – 15 %
- Napětí: max. 48 [V]
- Proud: 0,5 [A]



Obr. 4.36 Pneumaticko-elektrický tlakový spínač, provedení spínacího kontaktu [14]

Tlakový spínač detekce překážky

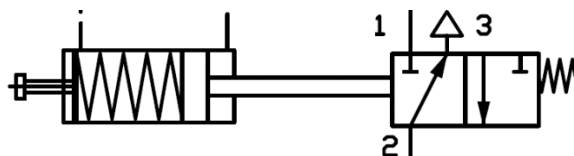
Z katalogu firmy Parker [11] volím diferenční tlakový snímací ventil 74010 s pneumatickým spínačem PXB-B1011, sloužící pro funkci detekce překážky při zavírání dveří.

Princip funkce tohoto prvku spočívá ve snímání tlakové difference jednotlivých prostorů pneumatického válce, přičemž větší tlak je přiveden na stranu pístnice snímače a menší tlak na stranu pístu, na kterou zároveň působí i síla pružiny (viz Obr. 4.38). Velikost síly vyvozené pružinou se dá nastavit stavěcím šroubem.

Je-li přiveden na plochu mezikruží pístu snímače takový tlak, jenž překoná sílu pružiny i protitlaku, dojde k přestavení koncového spínače do otevřené polohy a k vyslání signálu.



Obr. 4.37 Pneumatický diferenční tlakový snímač a spínač [11]



Obr. 4.38 Schéma konstrukce tlakového spínače a foto skladby diferenčního tlakového snímače

Při návrhu pneumatického válce a dalších prvků byly použity výpočtové vzorce, nákresy a poznatky z literatury [2].

Z důvodu nenalezení vhodnějších typů prvků, byly některé pneumatické prvky zvoleny i přesto, že nesplňují požadavek pro použití do -25°C .

4.5 Ověření funkce pneumatické varianty 3.1

Praktické ověření funkčnosti pneumatického systému pro otevírání dveří bylo uskutečněno pro navrženou variantu 3.1.

Prvky dodané firmou Parker:

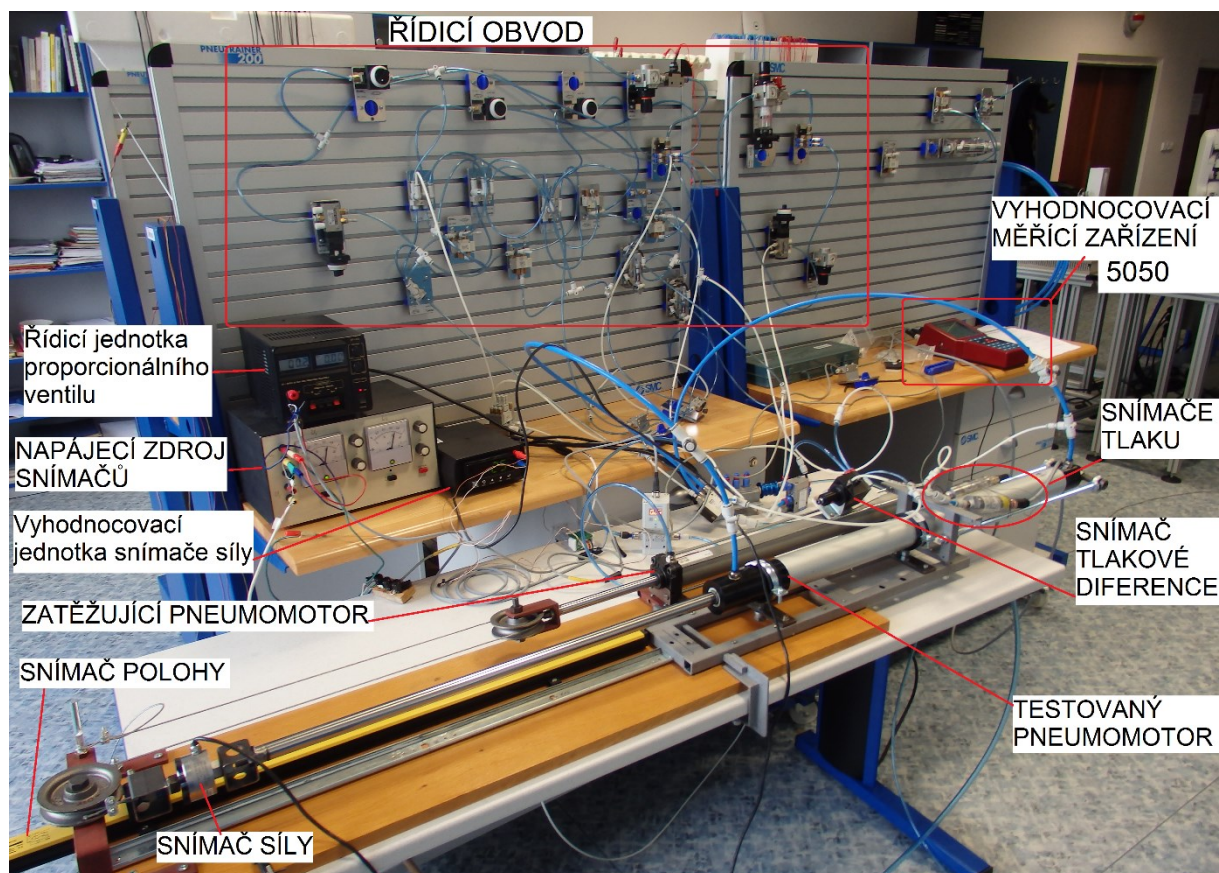
Dvojčinný pneumatický válec typu P1D-S050/S51369, délka zdvihu 650 [mm]

Pneumatický snímací ventil tlakové difference 74015

Polyamidová hadice 1025P08 04

Ostatní prvky systému byly použity z vybavení laboratoře pneumatických systémů.

Hlavní rozváděč 1.1 z obvodu na Obr. 4.4 byl realizován bistabilním 5/2 rozváděčem, ovládaným pneumaticky, typu P2LAX511PS, jelikož byl součástí vybavení laboratoře.



Obr. 4.39 Praktické ověření funkčnosti navrženého pneumatického systému

Snímače použité při měření:

Snímač polohy Li800P0-Q25LMO-LiU5X3-H1151 od firmy Turck

- Parametry snímače:
- měřitelný rozsah 800 mm
 - napájecí napětí 15 až 30 VDC
 - výstupní napětí 0 až 10 V
 - výstupní proud 4 až 20 mA

Snímač síly LCM203-2kN značky Omegadyne s měřitelným rozsahem 0 až 2 kN

Snímače tlaku Hydrotechnik typu PR15

- Parametry snímačů:
- měřitelný rozsah -1 až 0,6 MPa
 - analogový vstup 4 až 20 mA

Pro zaznamenání průběhu snímaných veličin byla použita vyhodnocovací jednotka 5050 Hydrotechnik, na jejíž analogové vstupy byly připojeny použité snímače.

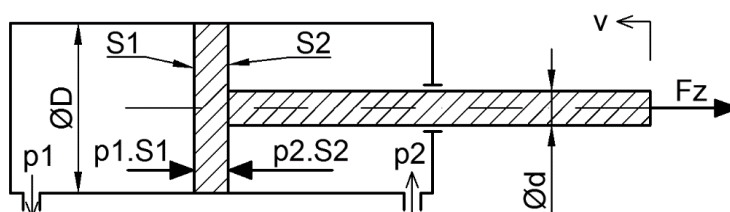
Průběh rychlosti pohybu pístnice byl získán z derivace dráhy podle času, kterou je možné nastavit na vyhodnocovací jednotce 5050.

Dříve než jsme přistoupili k realizaci, bylo nutné promyslet systém zatěžování pneumatického válce, především při zasouvání pístnice, která simuluje zavírání dveří. Bylo vycházeno z požadavků, že v případě sevření, nesmí být na osobu vyvozena síla větší, než 300 N. Usoudili jsme, že nejjednodušším způsobem, jak docílit zatěžování válce silou 300 N, bude pomocí druhého pneumatického válce řízeného proporčním ventilem, dvojicí kladek a ocelovým lankem (viz Obr. 4.39).

Následovala realizace zatěžovacího systému zkoušeného pneumomotoru, a sestavení řídicího pneumatického obvodu. Dříve než byl sestavený řídicí obvod napojen na zkoušený válec P1D-S050/S51369, byla ověřena jeho správná funkčnost na prvcích zkušebního stendu pneumatické laboratoře, ovšem bez zapojení systému detekce překážky.

Po odzkoušení funkčnosti řídicího obvodu byl napojen požadovaný pneumatický válec a systém pro detekci sevření osoby při zavírání dveří. Po odzkoušení funkce, systém nepracoval, jak bylo žádoucí. Problém spočíval v diferenčním tlakovém snímači, respektive v přestavování snímacího pístu, při daných tlacích. K vyřešení problému byla provedena následující úvaha:

Průměr pístu:	$D = 50 \text{ [mm]}$	}	Plocha pístu:	$S_1 = 1,963 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$
Průměr pístnice:	$d = 20 \text{ [mm]}$		Plocha mezikruží:	$S_2 = 1,649 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$
Vstupní tlak:	$p_2 = 0,4 \text{ [MPa]}$			
Síla od zátěže:	$F_z = 300 \text{ [N]}$			



Obr. 4.40 Působení sil při zasouvání pístu válce

Sestavení rovnice silové rovnováhy pístu pneumomotoru:

$$F_z + p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 \quad (4.16)$$

Výpočet maximálního protitlaku k dosažení silové rovnováhy:

$$p_1 = \frac{p_2 \cdot S_2 - F_z}{S_1} = \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 1,649 \cdot 10^{-3} - 300}{1,963 \cdot 10^{-3}} = 0,1832 \text{ [MPa]}$$

Tlaková diference mezi komorami válce:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 400 - 183,2 = 0,2168 \text{ [MPa]} \quad (4.17)$$

Z daných výsledků vyplývá, že bude-li se tlak p_1 pohybovat v hodnotách menších než 0,1832 [MPa], v případě, že protitlak $p_2 = 0,4$ [MPa], anebo bude-li tlaková diference Δp větší než 0,2168 [MPa], pístnice válce se bude zasouvat.

Nutno poznamenat, že uvedené výsledky výpočtů jsou pouze přibližné, neboť v rovnici silové rovnováhy nejsou zahrnuty síly způsobené odpořem těsnění ani síla pro rozběh.

Ke zjištění spínacího tlakového spádu diferenčního snímače, bylo nutné provést demontáž snímače a změření průměrů snímacího pístu a pístnice. Při demontáži bylo také zjištěno, že tuhost vložené pružiny není příliš velká, neboť při ručním stlačení nepůsobila velkým odporem.

Průměr pístu snímače: $D_s = 25 [mm]$

Průměr pístnice snímače: $d_s = 10 [mm]$

Plocha pístu snímače:

$$S_{1s} = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 4,91 \cdot 10^{-4} [m^2]$$

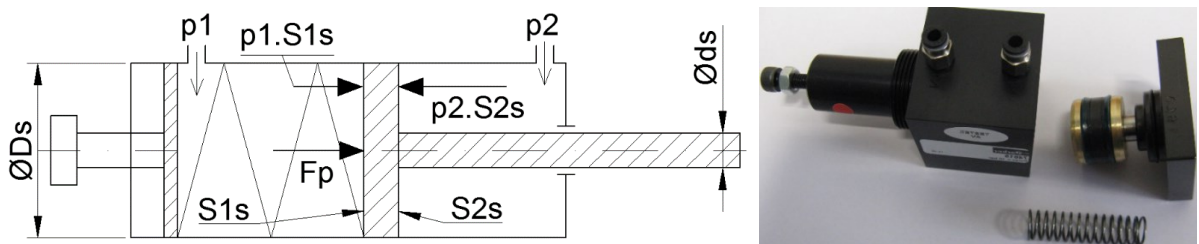
Plocha mezikruží snímače:

$$S_{2s} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_s^2 - d_s^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,025^2 - 0,01^2) = 4,12 \cdot 10^{-4} [m^2]$$

Rovnice silové rovnováhy pístu snímače:

$$F_p + p_1 \cdot S_{1s} = p_2 \cdot S_{2s} \quad (4.18)$$

Tlak působící na plochu mezikruží: $p_2 = 0,4 [MPa]$



Obr. 4.41 Nákres a foto skutečné konstrukce tlakového snímače a vykreslení sil působících na píst snímače

V rovnici silové rovnováhy se nacházejí 2 neznámé, a to síla vyvozená pružinou a síla od protitlaku p_1 působící na plochu pístu S_{1s} . Zanedbáme-li sílu od pružiny, můžeme vypočítat, při jakém maximálním tlaku p_1 nastane rovnováha sil působících na píst snímače:

$$p_1 = \frac{S_{2s}}{S_{1s}} \cdot p_2 = \frac{4,12 \cdot 10^{-4}}{4,91 \cdot 10^{-4}} \cdot 4 \cdot 10^5 = 0,336 [MPa]$$

Tlaková diference mezi komorami snímače:

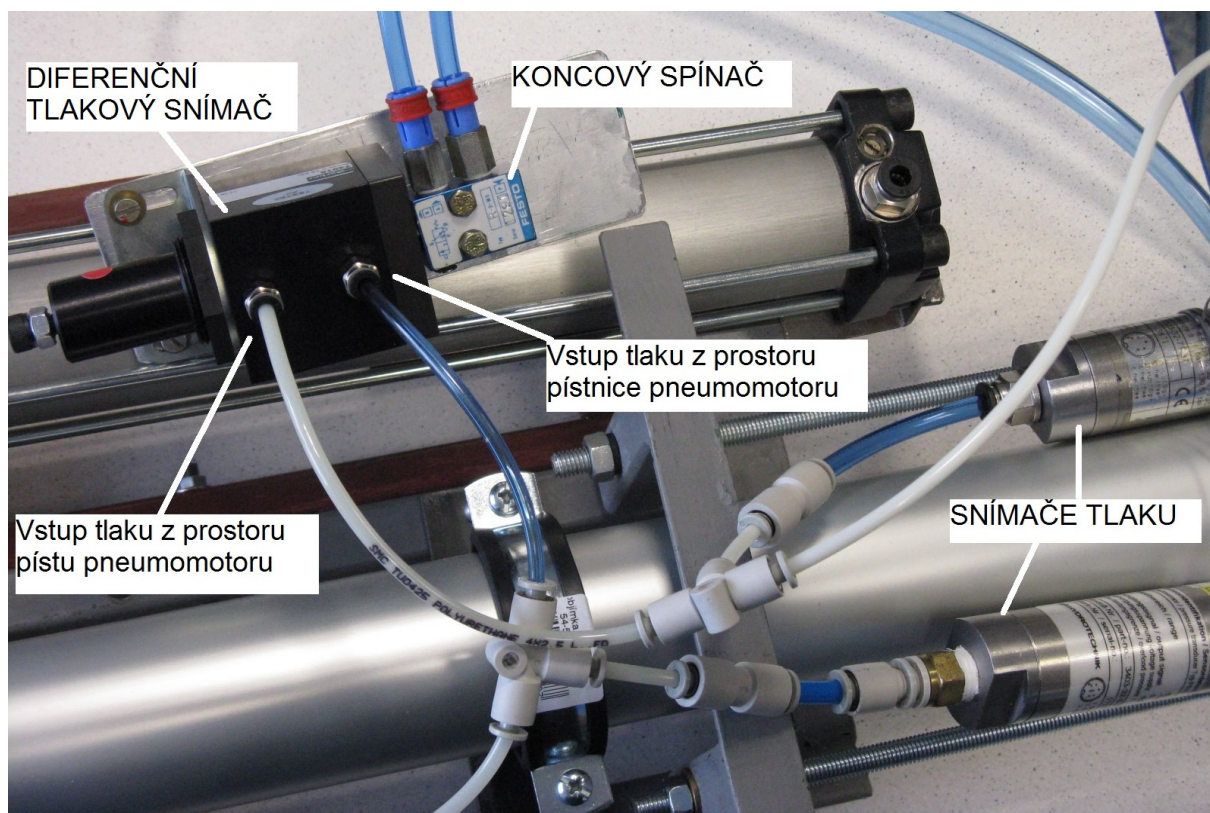
$$\Delta p_s = p_2 - p_1 = 400 - 336 = 0,064 [MPa]$$

Ze zjištěných výsledků vyplývá, že pokud nezapočítáme sílu od pružiny, pak potřebný tlak p_1 pro přesunutí pístu snímače na vysunutou polohu, při protitlaku $p_2 = 0,4 [MPa]$ by měl být větší než $0,336 [MPa]$, nebo také bude-li tlaková diference mezi komorami menší než $0,064 [MPa]$.

Začleněním síly vyvozené pružinou k výpočtu, se potřebná hodnota tlaku p_1 pro dosažení silové rovnováhy sníží a analogicky hodnota tlakové diference se zvětší.

Bude-li mít tlak p_1 hodnotu vypočtenou z rovnice silové rovnováhy pístu pneumomotoru (4.16), k dosažení silové rovnováhy pístu snímače bude zapotřebí poměrně tuhé pružiny, která by vyvodila patřičnou sílu, aby při zasouvání pístu pneumatického válce zůstal píst diferenciálního snímače ve vysunuté poloze. Teprve, až při sevření osoby, či předmětu nastane pokles tlaku p_1 , neboli zvětšení tlakové difference a musí dojít k přestavení pístu snímače do zasunuté polohy, čímž je vyslán tlakový signál od spínače k otevření dveří.

Po této úvaze byla provedena výměna původní pružiny snímače za pružinu s větší tuhostí. Odzkoušením takto upraveného snímače na sestaveném systému, se potvrdila naše úvaha a po doladění škrticích ventilů a stavěcího šroubu na diferenciálním snímači systém pracoval tak, jak bylo již dříve popsáno.



Obr. 4.42 Zapojení diferenciálního tlakového snímače s koncovým spínačem a připojenými snímači tlaku

Výsledky z provedeného měření:

Při ověření funkce navrženého obvodu bylo zároveň pomocí napojených snímačů provedeno měření dráhy (s) a rychlosti (v) pohybu pístnice válce, zatěžující síly na válci (F_z), tlaků (p_1 , p_2) a tlakové difference mezi komorami válce (Δp).

Měření těchto veličin bylo provedeno vícero a pro různé situace, které mohou u systému nastat. Nejdůležitějším a nejzajímavějším měřením, co se týče průběhu měřených veličin, bylo měření simulace sevření osoby či předmětu, jehož výsledky jsou znázorněny níže (viz Graf 1, Graf 2).

Měření simulace sevření - tahem rukou

Sevření osoby (objektu) dveřmi bylo v tomto případě simulováno tahem rukou za přípravek k uchycení siloměru od strany zatěžující síly. Tomuto měření odpovídá Graf 1.

Výchozí poloha pístnice válce byla pro měření ve vysunutém stavu, což je patrné z průběhů tlaků p_1 a p_2 , neboť na začátku měření působí tlak p_1 na plnou plochu pístu velikostí 400 [kPa] a v okamžiku, kdy se pístnice začne zasouvat, tlak p_1 klesá, ale zároveň protitlak p_2 působící na stranu mezikruží prudce vzrostl na hodnotu cca 400 [kPa].

V časovém intervalu přibližně od 1 do 1,5 [s] dochází k expanzi stlačeného vzduchu z prostoru od plné plochy pístu válce a současně k nárůstu tlakové difference. Píst válce je ovšem v relativně klidovém stavu a k jeho rozpořybování dochází až při poklesu tlaku p_1 na hodnotu cca 120 [kPa] (od času 1,5 [s]).

Začátek působení ručního tahání lze vypořobovat od hodnoty okolo 2,3 [s] na časové ose, jelikož v tomto okamžiku nastává pokles rychlosti pohybu pístu a tlaku p_1 a zároveň dochází k nárůstu zatěžující síly F_z , tlaku p_2 a analogicky i tlakové difference Δp . Při vzrůstu tlakové difference na hodnotu cca 314 [kPa] byl přestaven snímací píst diferenčního tlakového snímače do zasunuté polohy, což mělo za následek vyslání tlakového signálu pro opětovné vysunutí pístnice pneumomotoru. Tomuto odpovídají i následující průběhy měřených veličin, až na průběh zatěžující síly, která ještě cca 0,5 [s] po změně směru pohybu pístu válce, zůstává rostoucího charakteru. Tento průběh síly je zkreslený a neodpovídá realitě. Důvodem je pravděpodobně neschopnost použitého snímače síly zaznamenávat rychlé dynamické děje.

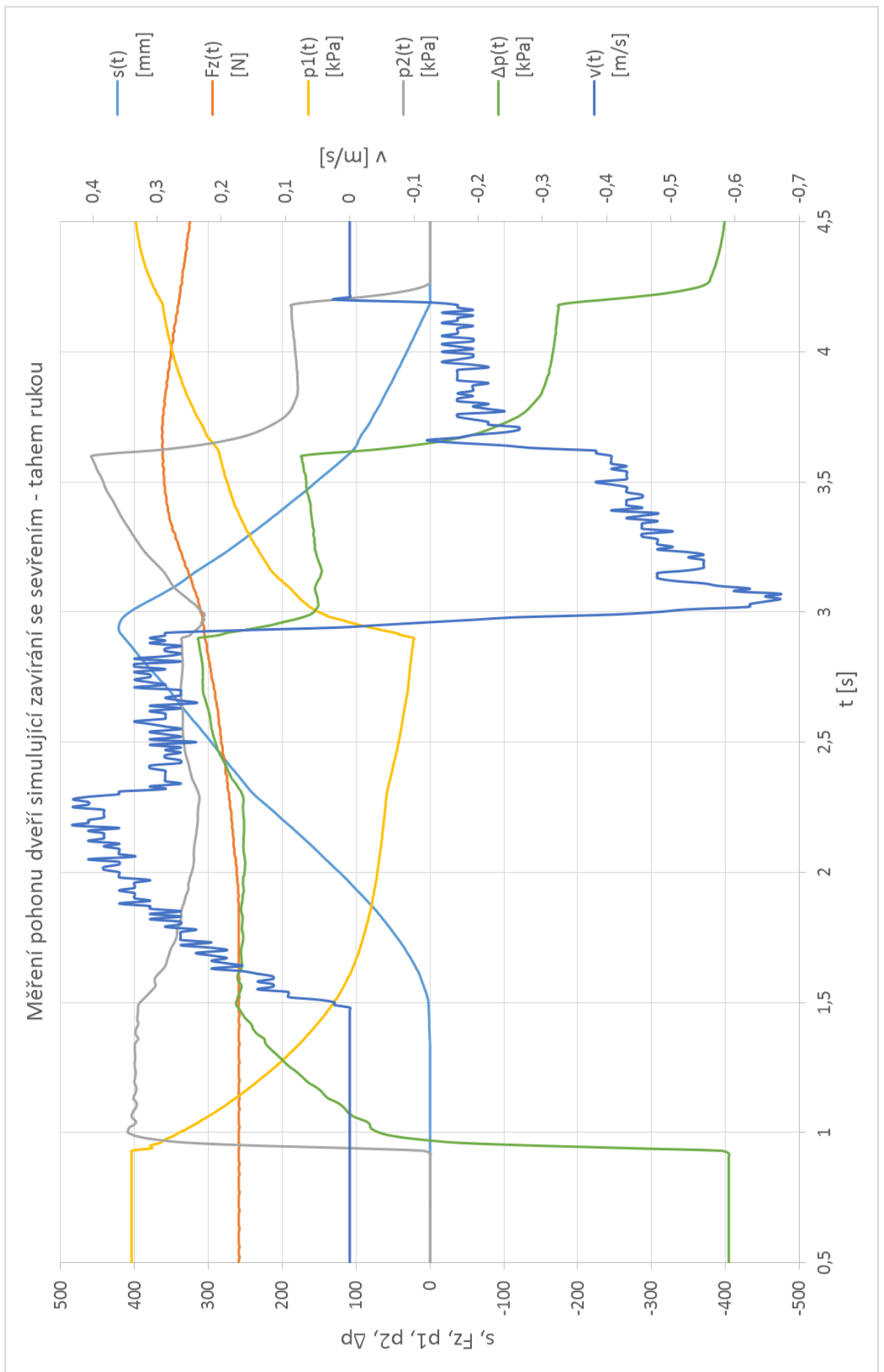
Měření simulace sevření – zablokováním

Při tomto měření bylo sevření osoby (objektu) simulováno naražením držáku snímače síly, přimontovaného ke konci pístnice testovaného válce, na zapřičenou dřevěnou desku. Došlo tedy k okamžitému zastavení pístnice. Tento způsob simulace sevření nám pomohl přesněji určit dobu, za jakou dojde k aktivaci systému detekce překážky a ke znovuotevření dveří. Jak lze vidět v Graf 2, jehož výsledky odpovídají tomuto měření, okamžik, kdy nastalo zablokování pístnice pneumomotoru, je v čase zhruba 2,3 [s], jelikož právě tehdy prudce klesla rychlost k nule, analogicky se i zastavil průběh polohy na konstantní hodnotě a zároveň se poměrně rychle zvedla tlaková difference.

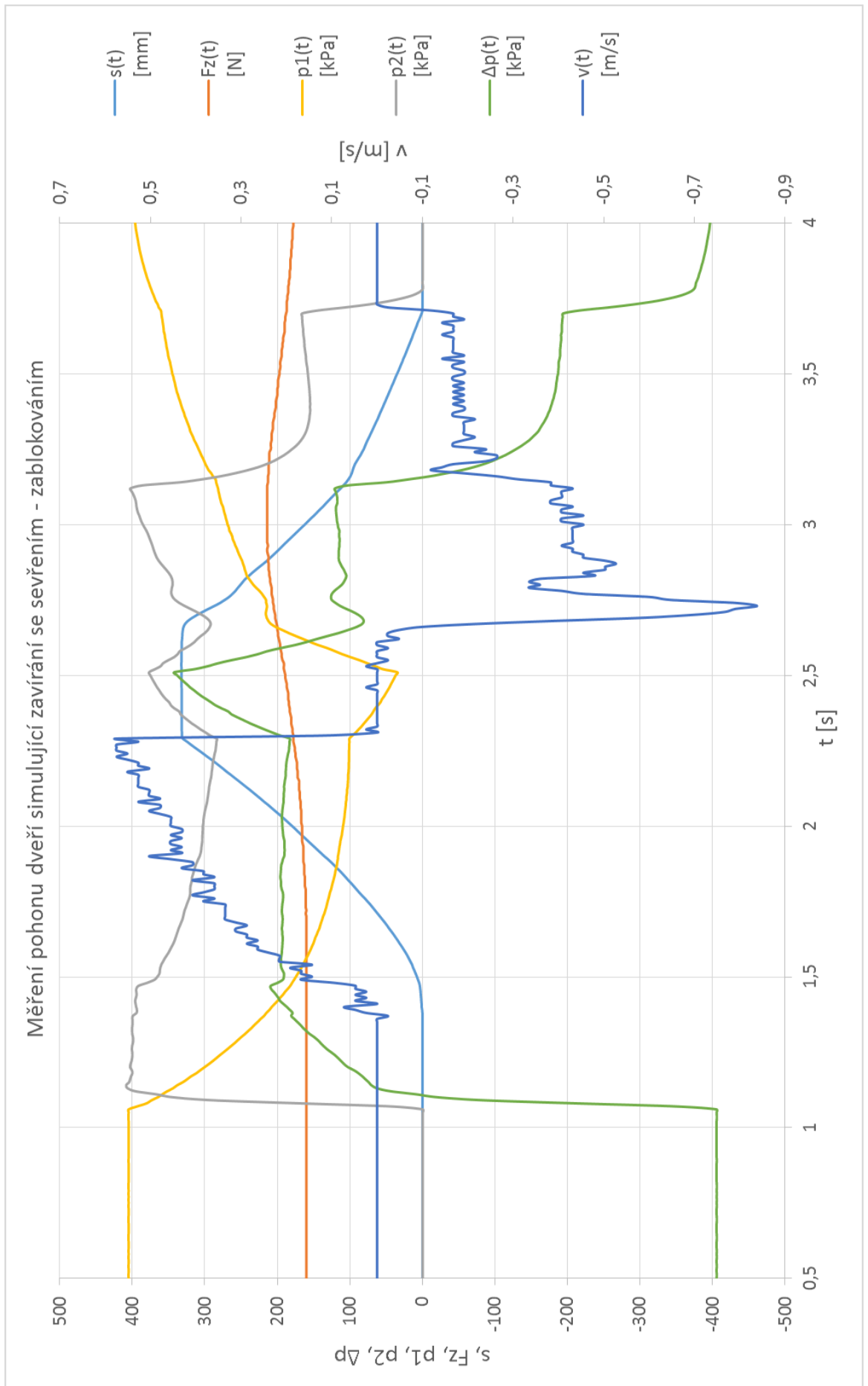
Při vzrůstu tlakové difference na hodnotu cca 338 [kPa] došlo k aktivaci systému detekce překážky a v čase okolo 2,7 [s] k rozpořybování a opětovnému vysunutí pístnice testovaného válce. Rozdíl na časové ose mezi zastavením při zablokování a opětovném rozpořybování pístnice tedy činí přibližně 0,5 [s]. Z těchto výsledků vyplývá, že systém splňuje bezpečnostní požadavek definující časový interval 1 [s] pro znovuotevření dveří při sevření.

Průběh síly je i v tomto případě poměrně nepřesný.

Video z obou měření je dostupné na přiloženém CD.



Graf 1 Výsledky z měření simulace zavírání dveří se sevřením – tahem rukou



Graf 2 Výsledky z měření simulace zavírání dveří se sevřením – zablokováním

1.5 – Diferenční tlakový snímač s nastavitelným spínacím tlakem a koncovým spínačem s elektrickým výstupním signálem

1.8 - Logický ventily OR – dvojitý jednosměrný ventil

1.01, 1.02 – Škrticí ventil s obtokem – jednosměrným ventilem

Specifikace elektrických prvků liniového schématu:

ODBLOKOVAT – Spínací kontakt, tlačítko s aretací, sloužící k odblokování funkce systému

1.9, 1.10 – Spínací kontakty ovládacích tlačítek otevřít/zavřít.

S1, S2, S3 - Spínací kontakt bezdotykového snímače polohy pístu válce

K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7 – Elektromagnetické relé a kontakty relé

R1, R2 – Elektrické časové relé se zpožděním na náběžné hraně

Y1, Y2, Y3 – Cívky elektromagnetů rozváděčů

SZ – Signalizace zavírání dveří

Funkce elektrického systému - elektrických časových relé a ovládání elektromagnetů Y1, Y2, Y3 jednotlivých rozváděčů 1.3, 1.4 a 1.6 by se v reálném provedení realizovalo programovatelným logickým automatem.

Stejně jako u variant pneumatického systému, i zde bezpečnostní ventil (BV) slouží pro nouzové odpojení tlakového vzduchu od celého obvodu. K tomuto ventilu musí mít přístup pouze oprávněné osoby.

Popis funkce systému:

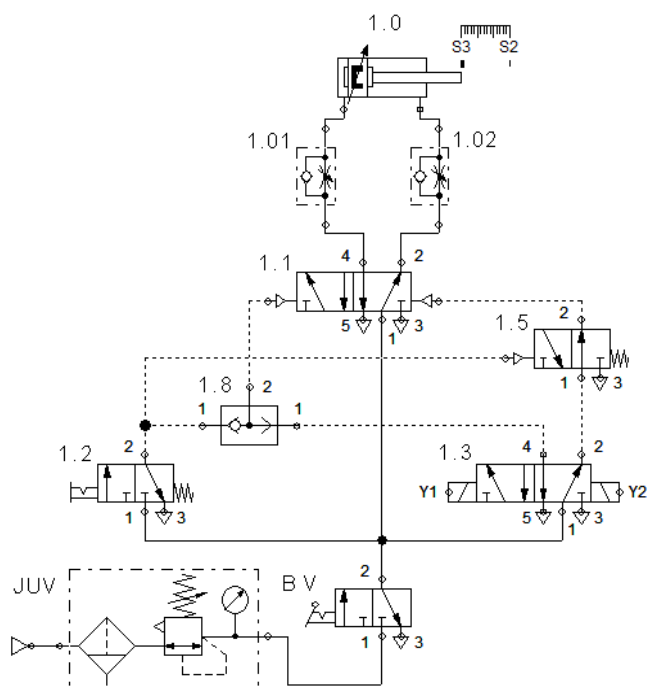
Funkce otvírání:

Odblokováním systému tlačítkem „ODBLOKOVAT“ a zmáčknutím jednoho z tlačítek 1.9, 1.10 dojde k aktivaci kontaktů relé K2. V případě, že je píst válce 1.0 v zasunuté poloze, je tedy i sepnut spínač S1 a přes logický součin s kontaktem K2 se aktivuje relé K3, jehož kontakt přivádí proud k cívce elektromagnetu Y1. Tím je přestaven rozváděč 1.4 do otevřené polohy a přivádí řídicí signál na levý přípoj hlavního rozváděče 1.1, kterým způsobí přestavení polohy šoupátka a následné vysouvání pístu pneumomotoru. Ihned po uvolnění tlačítka 1.9 nebo 1.10 dochází k deaktivaci cívky elektromagnetu Y1 a tedy i k odvodušnění levé řídicí větve hlavního rozváděče 1.1.

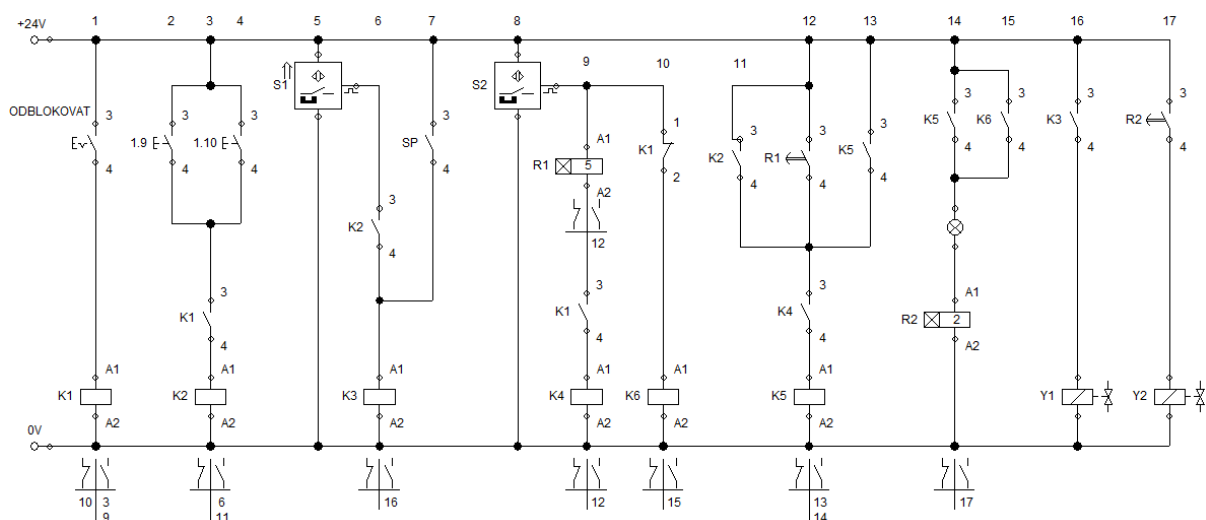
Funkce zavírání:

Nachází-li se píst válce ve vysunuté poloze, je aktivní snímač koncové polohy S2 a je-li současně systém odblokován, mohou nastat dva případy uzavření dveří. První případ je uzavření dveří po stisknutí jednoho z ovládacích tlačítek 1.9, 1.10. Druhým případem je automatické uzavření po uplynutí nastavené doby zpoždění na elektrickém časovém relé R1.

Varianta 2



Obr. 4.45 Pneumatické schéma elektropneumatického systému - varianta 2



Obr. 4.46 Liniové schéma elektropneumatického ovládání pohonu dveří – varianta 2

Funkce systému detekce překážky je v tomto případě řešena signálem SP od deformační lišty, umístěné na boční hraně křídel dveří.

Na rozdíl od varianty 1, kde ovládání hlavního rozváděče 1.1 a tedy i funkci otevírání a zavírání dveří zabezpečovaly rozváděče dva (1.3, 1.4), v tomto případě je otevírání a zavírání dveří zprostředkováno bistabilním řídicím rozváděčem 1.3 ovládaným elektricky, pomocí cívek Y1 a Y2.

Poslední změnou oproti variantě 1 je ventil 1.5, který plní funkci odvodušnění pravé řídicí větve hlavního rozváděče 1.1 v případě aktivace tlačítka nouzového otevírání 1.2.

Specifikace prvků elektropneumatického systému varianty 2

V navrženém pneumatickém obvodu varianty 2 elektropneumatického systému byly již téměř všechny použité prvky specifikovány v dříve popsaném pneumatickém systému, a proto zde nebudou uváděny znovu. Jediné prvky, které nebyly dříve specifikovány, jsou deformační lišta a bistabilní 5/2 elektricky ovládaný rozváděč 1.3.

Deformační lišta

Pro funkci detekce překážky při zavírání dveří, volím z katalogu firmy Tapeswitch [42] deformační snímací lištu TS-46. Snímač vykazuje odolnost vůči vodě, oleji a hydraulickým kapalinám.

Technické parametry:

- Aktivační síla: 44 [N]
- Napájecí proud: 28 [VAC] nebo [VDC]
- Napájecí napětí: max. 1 [A]
- Velikost promáčknutí: 19 [mm] (po aktivaci)



Obr. 4.47 Deformační snímací lišta [42]

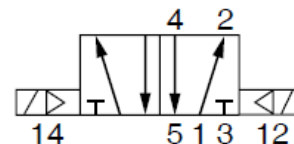
Řídicí rozváděč 1.3

Z katalogu firmy Parker [14] volím pro funkci řídicího rozváděče 1.3 z Obr. 4.45 rozváděč Viking Xtreme typu P2LAX511EEHDB49.

Specifikace prvku: Bistabilní 5/2 rozváděč ovládaný elektricky

Technické parametry:

- Pracovní rozsah teplot: od -40°C do +60°C
- Maximální pracovní tlak: 1,6 [MPa]
- Maximální průtok: 19 [l/s]
- Velikost závitů připojovacích portů: G1/8
- Ovládací napětí elektromagnetu: 24 [V] DC



Obr. 4.48 Pneumatická značka rozváděče [14]

Praktické ověření funkce na reálném obvodu nebylo provedeno, jednak z důvodu časové náročnosti potřebné k tomuto uskutečnění, ale především proto, že navržený pneumatický obvod tohoto systému je mnohem jednodušší, než v případě pneumatické varianty 3.1 a tudíž nejsou předpokládány funkční problémy tohoto navrženého systému.

Po konzultaci s vedoucím jsme usoudili, že nejvhodnějším řešením z navržených systémů k ovládní pneumatického pohonu dveří je varianta elektropneumatického systému, spolu s použitím deformační lišty jako snímače pro detekci překážky při sevření. Výhody tohoto provedení jsou především v úspoře místa a pořizovacích nákladech.

5. Návrh alternativního elektromechanického pohonu dveří

Výpočet potřebného teoretického výkonu elektromotoru

Pro zjednodušení výpočtu teoretického výkonu elektromotoru k pohonu dveří, zanedbáme dynamickou sílu při rozjezdu a účinnost mechanismu, neboť neznáme potřebné parametry k jejich začlenění. Budeme tedy vycházet pouze ze statického zatížení a ustálené rychlosti pohybu.

$$P_t = F_z \cdot v = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ [W]} \quad (5.1)$$

Výpočet teoretického krouticího momentu elektromotoru

Ke zvolení vhodného typu elektromotoru, je nutné znát jeho potřebnou rychlost otáček hřídele a daný krouticí moment při těchto otáčkách. Tyto parametry určíme z rovnice mechanického výkonu rotačního pohybu:

$$P_{mech} = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (5.2)$$

Z dané rovnice získáme potřebný krouticí moment pro volbu elektromotoru, avšak předem je nutné zvolit jeho otáčky.

Volba otáček elektromotoru: $n_{el} = 3000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

Teoretický krouticí moment elektromotoru:

$$M_{kt,el} = \frac{60 \cdot P_t}{2 \cdot \pi \cdot n_{el}} = \frac{60 \cdot 150}{2 \cdot \pi \cdot 3000} = 0,477 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Jelikož předchozí výpočty byly pouze přibližné a nebyly v nich zohledněny dynamické síly při rozběhu motoru, ani účinnosti pohybového mechanismu a odpory vzniklé třením, z toho důvodu bude navržený motor naddimenzován pro větší výkon.

Volba elektromotoru

Z katalogu firmy Parker [19] volím jako alternativní elektromechanický pohon dveří stejnosměrný servomotor série AXEM, typu F12M4.

Technické parametry motoru:

Jmenovitý krouticí moment: 0,77 [N.m]
Jmenovité otáčky hřídele: 3000 [min⁻¹]
Moment setrvačnosti: 150 [kg.mm²]
Jmenovité napětí: 43 [V]
Jmenovitý proud: 7,7 [A]



Obr. 5.1 "Pancake" DC servomotor [19]

6. Závěr

Diplomová práce se zabývá především návrhem pneumatického pohonu dveří vlaků a pneumatického ovládacího systému daného pohonu. Dále také zahrnuje návrh elektropneumatického řídicího systému pneumatického pohonu a kapitoly zabývající se návrhem alternativního elektromechanického pohonu dveří.

Při navrhování těchto zařízení bylo vycházeno z podrobné rešerše pojednávající o konstrukčním provedení různých typů dveřních systémů používající se v soudobých vlakových vozech. Dále je část rešerše věnována jednotlivým konstrukčním součástem těchto dveřních systémů a závěrečnou částí je souhrn bezpečnostních požadavků kladených na dveřní systémy vlaků dané normou ČSN EN 14752.

Na základě stanovených požadavků firmou Parker Hannifin, jenž je zadavatelem této práce, a po konzultacích s vedoucím byly vypracovány čtyři varianty pneumatického systému pohonu dveří. Jako hlavní (primární) varianta byla z navržených čtyř, zvolena varianta 3.1, podle které byly následně voleny jednotlivé reálné prvky k systému. Volba těchto prvků se odvíjela z požadavku firmy Parker Hannifin, který ukládal volit jednotlivé komponenty primárně z nabízeného sortimentu firmy.

Součástí zadání byl požadavek praktického ověření navrženého systému. K tomuto účelu firma Parker Hannifin zaslala pneumatický válec P1D-S050/S51369 sloužící jako pohon dveří, hadici 1025P08 04 a diferenční tlakový snímač 74015 pro systém detekující překážku mezi dveřmi při jejich zavírání. Ostatní potřebné komponenty byly nahrazeny prvky, kterými je vybavena pneumatická laboratoř.

Po sestavení řídicího obvodu, systému zatěžující testovaný pneumomotor a po vzájemném propojení a napojení všech snímačů k zaznamenávání průběhu měřených veličin, následovalo odzkoušení všech funkcí navrženého obvodu. Problém nastal při zkoušení funkce opětovného otevření, dojde-li k sevření osoby či předmětu. Bylo zjištěno, že pružina umístěná v diferenčním tlakovém snímači má malou tuhost nato, aby vyvinula patřičnou přítlačnou sílu na píst snímače, jíž by bylo potřeba k dosažení spínání při dané tlakové diferencii. Z toho důvodu byla původní pružina nahrazena pružinou tužší a po odzkoušení takto upraveného diferenčního tlakového snímače a doladění škrticích ventilů a stavěcího šroubu na snímači, bylo provedeno měření. Výsledkem z měření jsou záznamy průběhů snímaných veličin a to konkrétně polohy a rychlosti pohybu pístnice testovaného pneumatického válce, zatěžující síly, tlaku z prostoru pístu a pístnice válce a tlakové difference těchto tlaků. Z naměřených průběhů jednotlivých veličin v závislosti na čase byla přibližně stanovena hodnota tlakové difference, aktivující diferenční tlakový snímač a také doba, za kterou systém detekce překážky provede všechny potřebné úkony, nežli dojde k vysouvání pístnice válce.

Kromě pneumatických variant ovládacího systému pohonu dveří byly navrženy také dvě varianty elektropneumatického provedení. Oproti plně pneumatickým variantám se vyznačují mnohem menším počtem použitých prvků se zachováním všech funkcí systému. Proto jsme s vedoucím diplomové práce usoudili, že vhodnější z navržených systémů k ovládní pneumatického pohonu dveří je varianta elektropneumatického systému. Výhodami tohoto provedení jsou především úspora místa a pořizovací náklady.

Poslední část této práce se zabývá návrhem alternativního elektromechanického pohonu dveří. Výpočty vedoucí k návrhu zvoleného elektromotoru jsou zjednodušené a nelze tedy výsledek považovat za optimální konečné řešení. Pro podrobnější výpočty a optimální návrh elektromotoru by bylo nutno znát konstrukci a parametry dveřního systému.

Při vypracovávání návrhů ovládacích obvodů byl využit software Fluidsim od firmy Festo, u něhož byla využita také možnost simulace funkce navrženého systému.

Seznam použitých zdrojů informací

- [1] ČSN EN 14752. Železniční aplikace – boční vstupní systém vozidel. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. 88 s.
- [2] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl I. Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO. 1996. 265 s. ISBN 80-7078-306-0
- [3] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl II. Řízení pneumatických systémů*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO. 1997. 94 s. ISBN 80-7078-498-9
- [4] TŮMA, J., WAGNEROVÁ, R., FARANA, R., LANDRYOVÁ, R. *Základy automatizace*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO. 2007. 283 s. ISBN 978-80-248-1523-7
- [5] PARKER HANNIFIN, Warwick. *Pneumatic cylinders, Catalogue PDE2564TCUK* [online]. 10-2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Pneumatics%20Division%20Europe/Parker_Pneumatic_P1A_Mini_ISO_Cylinder_Catalogue_PDE2564TCUK.pdf>
- [6] PARKER HANNIFIN, Lichfield. *Rail transport, Brochure number PDE2649SLUK* [online]. 03-2011 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Rail/Parker_RailTransportBrochure_UK.pdf>
- [7] PARKER HANNIFIN, Richland. *Viking valve series, Catalog 0697P* [online]. 24-02-2016 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/Literature/Literature%20Files/pneumatic/Literature/Valve/0697P_Viking-Series.pdf>
- [8] PARKER HANNIFIN. *Products – Rodless pneumatic cylinders, Standard – Origa OSP-P Series* [online]. © 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://ph.parker.com/us/en/rodless-pneumatic-cylinders-standard-origa-osp-p-series>>
- [9] PARKER HANNIFIN. *Products – Rotary DC brushed servo motors, High performance DC servo motor – RS series* [online]. © 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://ph.parker.com/us/en/high-performance-dc-servo-motor-rs-series>>

- [10] PARKER HANNIFIN, Warwick. *Fluidic system technologies* [online]. 03-2015 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.parker.com/literature/KV%20Division/KV%20Division%20-%20PDF%20Files/Fluidic-System-Technologies-UK-May-2015.pdf>>
- [11] PARKER HANNIFIN. *Bus/Coach door obstruction detection* [online]. 11-2012 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Rail/PDFs/BulObstacleDetection-SingleSheets_11-27-12.pdf>
- [12] PARKER HANNIFIN, Richland. *Pneumatic logic & controls, catalog PCC-4* [online]. 08-03-2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.parker.com/literature/Literature%20Files/pneumatic/Literature/Telepneumatic/PCC-4.pdf>>
- [13] PARKER HANNIFIN. *Emergency access and egress* [online]. © 2016 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.parker.com/portal/site/PARKER/menuitem.de7b26ee6a659c147cf26710237ad1ca?vgnextdiv=687WPC&vgnnextcatid=13966999&vgnnextcat=EMERGENCY%20ACCESS%20AND%20EGRESS&vgnextoid=fcc9b5bbec622110VgnVCM10000032a71dacRCRD&vgnnextfmt=FI>>
- [14] PARKER HANNIFIN, Warwick. *Parker pneumatic catalogue PDE2600PNUK* [online]. 02-2016 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Pneumatics%20Division%20Europe/PDE-Documents/General%20Catalogues/PDE2600PNUK_Parker_Pneumatic_Catalogue.pdf>
- [15] PARKER HANNIFIN, Warwick. *Pneumatic cylinders, catalogue PDE2662TCUK* [online]. 03-2015 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Pneumatics%20Division%20Europe/Parker_Pneumatic_P1D-X_Extreme_ISO_Cylinder_PDE2662TCUK.pdf>
- [16] PARKER HANNIFIN, Warwick. *High performance pneumatic valves – Viking Xtreme series, catalogue PDE2569TCUK* [online]. 01-2014 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.parker.com/literature/Pneumatics%20Division%20Europe/PDE-Documents/Pneumatic%20Valve%20-%20Viking%20Xtreme%20Series%20-%20Catalogue%20PDE2569TCUK.pdf>>

- [17] PARKER HANNIFIN, Lichfield. *Control devices, catalogue PDE2614TCUK-ca* [online]. 07-2010 [cit. 2016-04-11]. Dostupné z WWW: <<https://www.parker.com/literature/Pneumatics%20Division%20Europe/PDE-Documents/Control%20Devices%20Platform-UK.pdf>>
- [18] PARKER HANNIFIN, Richland. *Air preparation products, catalogue 0700P-E* [online]. 05-09-2013 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Literature%20Files/pneumatic/Literature/FRL/0700P-E_D%20Stainless%20Steel%20FRL.pdf>
- [19] PARKER. *DC servo drives* [online]. 12-2012 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z WWW: <http://www.parker.com/literature/Electromechanical%20Europe/Literature/192_124400_RTS_RS_RX_Axem_Catalogue.pdf>
- [20] IFE Tebel technologies. *Products* [online]. © 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <http://www.ife-tebel.nl/en/products/products_1.jsp>
- [21] IFE doors. *Products – Internal doors, Intercommunication doors* [online]. © 2016 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <http://www.ife-doors.com/en/products/longdistancetraffic/internaldoorsintercommunicationdoors_1/internaldoorsintercommunicationdoors_1.jsp>
- [22] IFE doors, Kematen an der Ybbs. *Brochures – IFE FLEX Door control unit* [online]. © 2016 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z WWW: <http://www.ife-doors.com/media/en/documents/prospekte/en/ife_flex_door_control_unit.pdf>
- [23] IFE doors, Kematen an der Ybbs. *Brochures – IFE E4 Door drive unit* [online]. © 2016 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z WWW: <http://www.ife-doors.com/media/en/documents/prospekte/en/ife_e4_door_drive_unit_.pdf>
- [24] DOOP TRADE CZ. *Produkty – Dveře vstupní přesuvné* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.dopptrade.cz/dv-vstup1.htm>>
- [25] DOOP TRADE CZ. *Produkty – Dveře vnitřní posuvné* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.dopptrade.cz/dv-pos1.htm>>

- [26] PARS KOMPONENTY. *Produkty – Vlaky – Dveře vstupní* [online]. © 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.parskomponenty.cz/produkty/vlaky/prostor-pro-cestujici/dvere-vstupni/>>
- [27] PARS KOMPONENTY. *Produkty – Vlaky – Dveře čelní* [online]. © 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.parskomponenty.cz/produkty/vlaky/prostor-pro-cestujici/dvere-celni/>>
- [28] BETACONTROL. *Vývoj - Řízení dveří* [online]. 1994-2015 © [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.betacontrol.cz/cs/vyvoj/rizeni-dveri.html>>
- [29] ŠKODA VAGONKA. *Produkty – Elektrická jednotka řady 675* [online]. © 2014 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.vagonka.cz/40001.asp?ids=14133>>
- [30] WIKIPEDIA. *Dveře pro cestující* [online]. 22-11-2015 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dve%C5%99e_pro_cestuj%C3%ADc%C3%AD>
- [31] EDS. *Automatic sliding doors* [online]. © 2015 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z WWW: <http://www.edsuk.com/automatic_sliding_doors.html>
- [32] LO, Chris. Railway-technology. *Modern rail door systems: An open and shut case* [online]. 02-2011 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.railway-technology.com/features/feature110970/>>
- [33] Stejnoseměrné stroje (motory) [online]. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z WWW: <<http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/Vs/kap22.pdf>>
- [34] STEVEN ENGINEERING, South San Francisco. *Safety sensitive edges, FF-SD Series* [online]. © 2002-2006 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z WWW: <http://stevenengineering.com/Tech_Support/PDFs/31SAFE_FF-SD.pdf>
- [35] MM SPEKTRUM. *Pneumatické ovládání dveří vozidel* [online]. 16-07-2002 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/pneumaticke-ovladani-dveri-vozidel.html>>
- [36] TRAIN DOOR SOLUTIONS. *Class 14X Fleet* [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.traindoor.com/pdfs/TDS14XFleet72.pdf>>

- [37] MPS. Dveřní systémy [online]. [cit. 2016-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.noma.cz/dvernisystemy.php>>
- [38] PICKERSGILL-KAYE LTD, Leeds. *Passenger emergency egress and access devices* [online]. © 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.pkaye.co.uk/wp-content/uploads/2015/08/Passenger-Emergency-Egress-Access-2015a.pdf>>
- [39] RS COMPONENTS. *Parker viking extreme pneumatic control valve* [online]. © 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z WWW: <<http://sg.rs-online.com/web/p/pneumatic-solenoid-pilot-operated-control-valves/0410628/>>
- [40] TEPROSTROJ. *Bezpečnostní odporové spínací lišty* [online]. © 2013 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://teprostroj.com/index.php/produkty/bezpecnostni-komponenty-pro-stroje/49-uncategorised/102-bezpecnostni-odporove-spinaci-listy>>
- [41] AMTEK. *Bezpečnostní spínací lišty* [online]. © 2014 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://www.amtek.cz/cs/bezpecnostni-spinaci-listy>>
- [42] TAPESWITCH. *Sensing edges* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z WWW: <https://www.tapeswitch.com/Info/Catalogs/Edge_v2.00.pdf>

Seznam příloh

- Příloha A** Výkresová dokumentace:
- Schéma pneumatického obvodu pohonu dveřního systému DP-KRA0110-PV31
- Příloha B** Datový nosič CD-ROM s textovou částí, foto a video dokumentací a výsledky z provedených měření.