



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

VÝVOJ TLAKOVÉHO SPÍNAČE PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA

DEVELOPMENT OF PRESSURE SWITCH FOR RAIL VEHICLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Ondřej Havelka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Ondřej Havelka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Zdeněk Túma, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Vývoj tlakového spínače pro kolejová vozidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tlakové spínače jsou hojně využívány v automobilním, petrochemickém a jiném průmyslu. Jednotlivá odvětví průmyslu vyžadují specifické požadavky na typ spínače. V tomto případě bude práce zaměřena na aplikaci tlakových spínačů v kolejových vozidlech.

Cíle diplomové práce:

1. Zpracování přehledu současných tlakových spínačů, testování jejich vlastností a vyhodnocení
2. Návrh konceptu tlakového spínače včetně výkresové dokumentace
3. Provedení technických výpočtů
4. Vyhodnocení/Závěr

Seznam literatury:

R.G. Budynas, J.K. Nisbett. (2011): Shigley's Mechanical Engineering Design, SI version.McGraw-Hill,Blacklick

Svoboda P., Brandejs J.(2013): Výběry z norem pro konstrukční cvičení, Cerm, Brno

Imi precision engineering, <http://www.imi-precision.com/>,přístup 8.října 2015.


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce tlakového spínače s nastavitelnou hysterezí. V rámci práce je zpracován stručný úvod do teorie stlačeného vzduchu a tlakových spínačů, dále proběhla rešerše současné nabídky tlakových spínačů na trhu a jejich testování. Na základě získaných poznatků a požadavků zákazníka byl proveden návrh tlakového spínače. V práci jsou popsány tři hlavní části prototypu: přenos tlaku, nastavitelnost hystereze a synchronizace mikrospínačů. Poslední část práce popisuje testování vyrobeného prototypu a vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA





Tlakový spínač, nastavitelná hystereze, pneumatický spínač, mikrospínač, stlačený vzduch

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of pneumatic pressure switch with adjustable hysteresis. In the thesis is carried out the introduction in the theory of compressed air and research of the pressure switches at the market. Based on the gathered information and customer specification, the design draft of the pressure switch has been created. In the thesis are described three main parts of the prototype: transform of the pressure, adjustable hysteresis and synchronization of the microswitches. In the end of the thesis is described the testing of prototype and summary of the results.

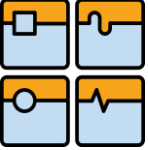
KEYWORDS

Pressure switch, adjustable hysteresis, pneumatic switch, microswitch, compressed air

Str. 6	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVELKA, O. *Vývoj tlakového spínače pro kolejová vozidla*. Brno; Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016, 53s, Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Tůma. Ph.D.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	





ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Tůmy Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2016

.....

Bc. Ondřej Havelka





Str. 8	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

PODĚKOVÁNÍ

Děkování především vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňku Tůmovi Ph.D., který mi během tvorby této práce poskytoval užitečné rady, informace, a byl velice ochotný a trpělivý. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při studiu.

Obsah

1. Teoretický úvod	11
1.1. Tlak – odvozená veličina.....	11
1.2. Stlačený vzduch.....	12
1.2.1. Vlastnosti stlačeného vzduchu.....	12
1.3. Mechanický tlakový spínač.....	14
1.4. Princip.....	15
1.5. Přehled mechanických tlakových spínačů.....	16
1.5.1. IMI Norgren 18D-LT	16
1.5.2. IMI Norgren 20D	17
1.5.3. FESTO PEV.....	18
1.5.4. SUCO 186-458.....	19
2. Návrh mechanického tlakového spínače.....	21
2.1. Požadavky zákazníka na spínač – specifikace.....	21
2.2. Testování konkurenčních spínačů	22
2.2.1. Condor MDR-K2, K6 a K11	23
2.2.2. Thermis 214 002 a 411 010	23
2.2.3. IMI Norgren Mini 9950	24
2.2.4. SUCO 186-458-03-1-006	25
2.2.5. FESTO PEV-1/4-B	25
2.2.6. APS 106, 113, 114 a 125.....	26
2.3. Návrh konstrukčního řešení	27
2.3.1. Nastavitelnost hystereze	28
2.3.1.1. Vlastní hystereze mikrospínače	28
2.3.1.2. Hystereze tlakového spínače.....	29
2.3.2. Přenos tlaku.....	31
2.3.3. Synchronizace mikrospínačů	34
2.3.4. Implementace mechanismů	35
2.3.4.1. Popis cyklu spínače	37

Str. 10	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

2.3.5. Technické výpočty.....	39
2.3.5.1. Přenos tlaku	39
2.3.5.1.1. Výpočet síly vyvolané tlakem	39
2.3.5.1.2. Kontrolní výpočet pracovních sil hlavní pružiny	40
2.3.5.1.3. Porovnání vypočtených sil hlavní pružiny a tlaku	40
2.3.5.2. Nastavitelnost hystereze	41
2.3.5.2.1. Kontrolní výpočet pracovních sil diferenční pružiny.....	41
2.3.5.2.2. Porovnání vypočtených sil pružin a tlaku.....	42
2.3.5.3. Synchronizace mikropsínačů.....	43
2.3.6. Testování návrhu konstrukce	45
2.4. Vyhodnocení.....	49
3. Závěr	50
4. Seznam použitých zkratk a symbolů	51
5. Seznam příloh	52
6. Použité informační zdroje.....	53

1. TEORETICKÝ ÚVOD

1.1. TLAK – ODVOZENÁ VELIČINA

Tlak je odvozená veličina, při jejímž měření lze vyjít ze dvou základních definic:

- tlak p definovaný jako síla F působící kolmo na plochu S

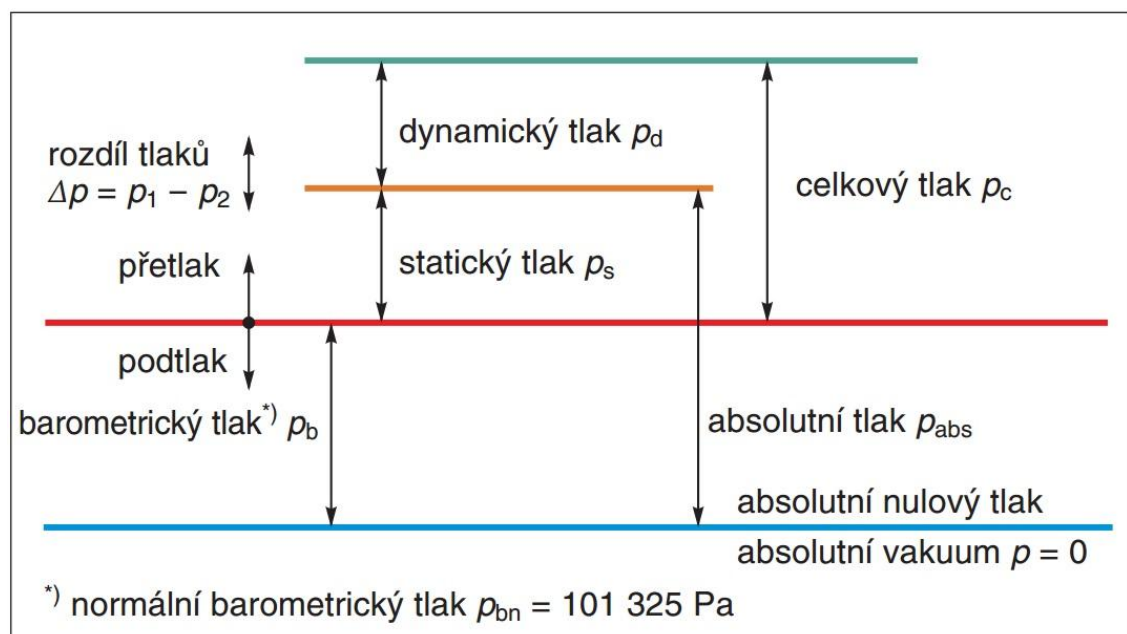
$$p = \frac{F}{S}$$

- tlak p definovaný prostřednictvím hydrostatického sloupce kapaliny o hustotě ρ a výšce h (g je zemské gravitační zrychlení)


$$p = h \times \rho \times g$$

Hlavní jednotkou tlaku v soustavě SI je *pascal* (Pa). Je to tlak, který vyvolá síla jednoho newtonu na rovnoměrně rozložené ploše 1 m^2 kolmé ke směru této síly. Vzhledem k tomu, že pascal je jednotka velmi malá, používají se v praxi násobky hPa , kPa a MPa . Vedle jednotky Pa je povoleno používat i jednotku *bar* ($1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$, přesně).

Hodnota tlaku se obvykle udává proti dvěma základním vztažným hodnotám, a to k absolutnímu nulovému tlaku nebo k barometrickému tlaku (tlak vzduchu v daném místě za podmínek měření), anebo se měří rozdíl (diference) tlaků, z nichž žádný se neshoduje s barometrickým tlakem (Obr. 1).



Obr. 1 - Pojmy z oblasti měření tlaku [1]

Str. 12	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Absolutní tlak je tlak měřený od absolutní tlakové nuly, přetlak a podtlak se měří od okamžitého barometrického tlaku p_b (tlaku v okolní zemské atmosféře). U proudících kapalin a plynů přistupuje ke statickému tlaku p_s ještě kinetický tlak p_k , popř. dynamický tlak p_d . Kinetický tlak je funkce rychlosti proudění v a hustoty proudící tekutiny ρ ; dynamický tlak zahrnuje vliv stlačitelnosti tekutiny. Součinitel stlačitelnosti s je pro nestlačitelné tekutiny (kapaliny) roven 1 a pak $p_d = p_k$, neboť platí:

$$p_k = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2$$

$$p_d = p_k \times s$$

Pro celkový tlak p_c v proudící kapalině platí $p_c = p_s + p_d$. Zatímco statický tlak má charakter skaláru, dynamický tlak je vektor s orientací totožnou s orientací vektoru rychlosti proudění.

[1]

1.2. STLAČENÝ VZDUCH

Využití stlačeného vzduchu má své pevné místo v použití pro pohony, řízení a regulaci. Stlačený vzduch je stále více používán a je neodmyslitelnou součástí řady manipulátorů a dalších mechanismů.

Obecně se pneumatické pohony používají tam, kde stačí malé až střední síly a je třeba rychlý pohyb s vysokou frekvencí. Lineární pohyby malých pneumatických válců nebo úchopných hlavic mají malé momenty setrvačnosti a proto umožňují rychlé reakce a rychlosti mechanismů.

Stlačený vzduch má mnohostranné využití. Na jedné straně se jím měří tlak kapaliny v lidském oku, na druhé straně se používá k pohonu vrtačky pro vrtání betonu. Často se využívá v konstrukci a stavbě přípravků, balících a dřevoobráběcích strojů, textilním průmyslu atd.


[2]

1.2.1. VLASTNOSTI STLAČENÉHO VZDUCHU

Některé z rozhodujících důvodů proč je v průmyslu stlačený vzduch využíván:

Dostupnost

Stlačený vzduch je ve většině podniků k dispozici. Pojízdne kompresory umožňují jeho využití mimo provozovny.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Skladování

Velké objemy stlačeného vzduchu lze bez problémů v tlakových láhvích.

Jednoduchá konstrukce

Pneumatické prvky mají jednoduchou konstrukci a lze z nich sestavit jednoduché řídicí obvody pro automatizaci strojů a zařízení.

Řízení proudu a tlaku

Rychlost pneumatického motoru lze jednoduše nastavit přestavením jehly škrťacího ventilu, sílu přestavením regulátoru tlaku vzduchu.

Trvanlivost při malých nárocích na údržbu

Pneumatické motory a řídicí systémy prakticky odolávají prostředí provozu a atmosférickým vlivům. Předpokladem je provoz s čistým stlačeným vzduchem, zbaveným před spotřebičem mechanických nečistot, kondenzátu a oleje.

Bez negativních vlivů na životní prostředí

Provoz pneumatických pohonů je čistý a při správném ošetření vyfukovaného vzduchu lze splnit příslušné normy pro provoz v čistém prostředí.

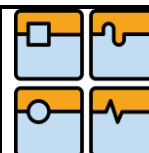
Bezpečnost

Pneumatické pohony se při provozu nezahřívají, a proto je možno je bez obav použít i ve výbušném prostředí. Při přetížení (pracovní tlak = provozní tlak) se pneumatické motory zastaví a mohou v tomto stavu setrvat neomezenou dobu, aniž by došlo k jejich poškození.

Velké zrychlení

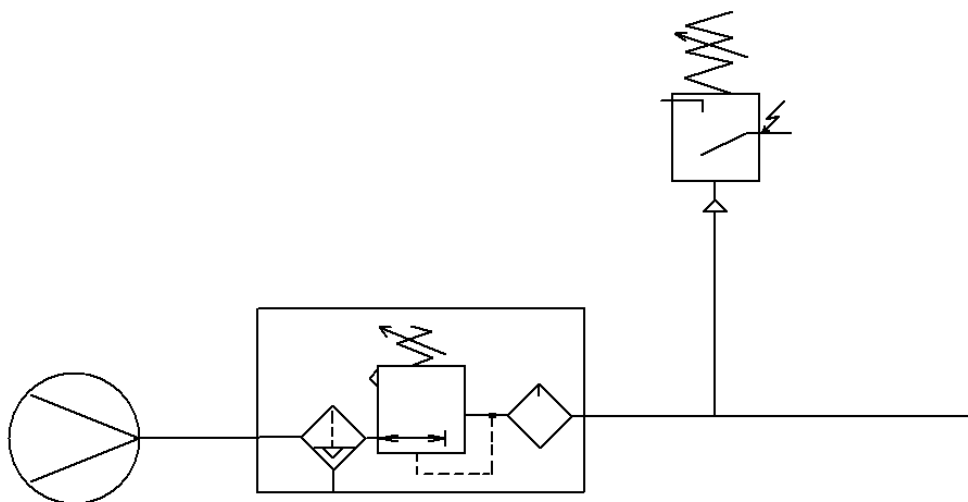
Velké zrychlení umožňuje velká rozpínavost stlačeného vzduchu a malá hmotnost pohybujících se částí pneumatických motorů.

[2]



1.3. MECHANICKÝ TLAKOVÝ SPÍNAČ

Mechanický tlakový spínač je zařízení používané v tlakových obvodech. Nejlépe jeho funkci můžeme popsat na následující části pneumatického schéma (Obr. 2).



Obr. 2 - Pneumatické schéma

Ve schématu jsou zapojeny tři prvky (kompresor, filtrační jednotka a tlakový spínač). Požadavkem je udržet tlak v obvodu v rozmezí 1,5 – 2 bary. Tlakový spínač je nastaven, tak aby při poklesu tlaku pod 1,6 baru sepnul. Sepnutím je předána informace do řídicí jednotky a ta dá impuls ke spuštění kompresoru. Spuštěním kompresoru začne růst tlak v obvodu a při dosažení hodnoty 1,9 baru je tlakový spínač rozepnut. Stejným způsobem jako při sepnutí je dán impuls k vypnutí kompresoru.

Rozdíl hodnot 1,9 a 1,6 baru je nazýván hystereze, tuto vlastnost tlakového spínače způsobuje použitý mikrospínač a jeho konstrukcí ji lze ovlivnit. Hodnota hystereze není ve většině mechanických tlakových spínačů nastavitelná a s rostoucím tlakem takřka lineárně roste.

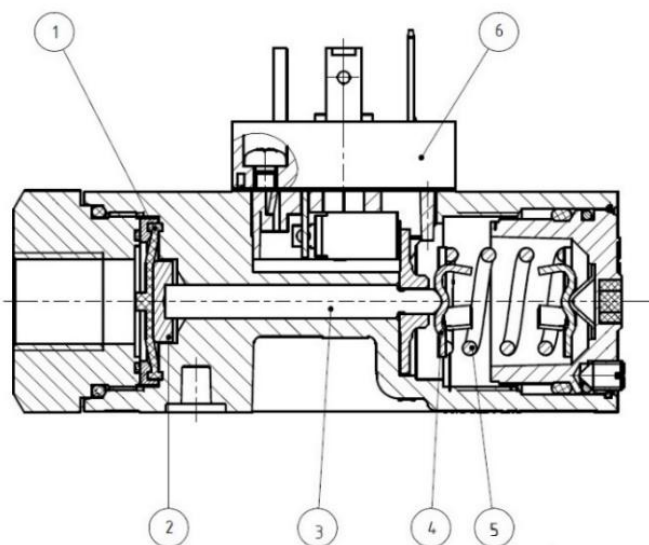
Mechanické tlakové spínače lze rozdělit podle druhu obvodů, do kterých jsou určeny. Toto rozdělení je patrné z následující tabulky (Tabulka 1):

Tabulka 1 - Přehled typu spínačů podle obvodu [1]

Typ spínače	Použité médium	Rozsah spínaných tlaků	Mechanismus přenosu tlaku
Vakuový	Vzduch, neagresivní plyn	-1 ... 0 bar	Membrána, pružný člen
Pneumatický	Vzduch, neagresivní plyn	0 ... řádově 1000 bar	Membrána, pružný člen
Hydraulický	Hydraulické oleje	0 ... řádově 1000 bar	Membrána, píst

1.4. PRINCIP

Princip mechanických tlakových spínačů je založen na působení tlaku proti pružnému elementu (nejčastěji pružina), na následujícím obrázku je tento princip popsán (Obr. 3).







Obr. 3 - Princip tlakového spínače

Základní mechanismus se skládá z pružné membrány – 1, podložky – 2, pístku – 3, podložky – 4, pružiny – 5 a mikrospínače – 6.

Na pravé straně stlačená pružina působí silou F_1 na píst, jejíž velikost se spočítá z tuhosti k a délky jejího stlačení x vztahem:

$$F_1 = k \times x$$

Str. 16	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

Síla F_1 způsobuje posunutí pístu směrem k membráně a mírné vyboulení pružné membrány. Celkový rozsah pohybu pístu v jeho ose je přibližně 1 mm. Kontakty mikrospínače jsou v tomto stavu rozpojeny.

Působící tlak na membránu vytváří sílu F_2 , jejíž velikost se spočítá z obsahu S podložky 3 a tlaku p vztahem:

$$F_2 = p \times S$$

V okamžiku kdy $F_2 > F_1$, dojde k posunutí pístu a spojení kontaktů mikrospínače.

1.5. PŘEHLED MECHANICKÝCH TLAKOVÝCH SPÍNAČŮ

V následujících odstavcích je uveden přehled nejznámějších typů pneumatických tlakových spínačů jednotlivých výrobců.

1.5.1. IMI NORGREN 18D-LT

Řada 18D-LT zahrnuje tlakové spínače schopné pracovat v rozsahu -1 ... 16 barů a při teplotách až -55°C . V následující tabulce jsou uvedeny parametry pro spínač 0880357 (Obr. 4Obr.).

[3]



Obr. 4 - Tlakový spínač řady 18D-LT [3]

Tabulka 2 – parametry tlakového spínače [3]

0880357	
Pracovní tlak	0,5 ... 8 bar
Hystereze	fixní (0,4 ... 0,9 bar)
Max. přetlak	26 bar
Počet cyklů	100/min
Pracovní teplota	-40°C ... +85°C
Opakovatelnost	+/-0,2 bar
Spínací prvek	Mikrospínač s pozlacenými kontakty
IP krytí	IP 65
Připojení	G1/4“, vnitřní závit
Hmotnost	0,2 kg
Materiály	Hliník, EPDM, VQM

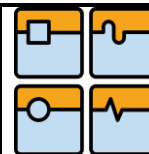
1.5.2. IMI NORGREN 20D

Řada 20D zahrnuje tlakové spínače schopné pracovat v rozsahu -1 ... 100 barů a při teplotách až -10°C. V následující tabulce jsou uvedeny parametry pro spínač 1811615 (Obr. 5).

[7]



Obr. 5 - tlakový spínač řady 20D [7]



Tabulka 3 - parametry tlakového spínače [7]

1811615	
Pracovní tlak	1 ... 10 bar
Hystereze	Nastavitelná (0,4 ... 0,8 bar) až (0,4 ... 8 bar)
Max. přetlak	20 bar
Počet cyklů	20/min
Pracovní teplota	-10°C ... +100°C
Opakovatelnost	+/-1% z nastavené hodnoty
Spínací prvek	Mikrospínač s pozlacenými kontakty
IP krytí	IP 65
Připojení	G1/2“, vnitřní závit
Hmotnost	0,8 kg
Materiály	Hliník, nerez

1.5.3. FESTO PEV

Řada PEV zahrnuje tlakové spínače schopné pracovat v rozsahu 1 ... 12 barů a při teplotách až -20°C. V následující tabulce jsou uvedeny parametry pro spínač PEV-1/4-B (Obr. 6).

[5]



Obr. 6 – Tlakový spínač řady PEV [4]

Tabulka 4 - parametry tlakového spínače [4]

PEV-1/4-B	
Pracovní tlak	1 ... 12 bar
Hystereze	Nastavitelná - (~0,3 ... 2 bar) až (~0,8 ... 4 bar)
Max. přetlak	neuveдено
Počet cyklů	180/min
Pracovní teplota	-20°C ... +80°C
Opakovatelnost	neuveдено
Spínací prvek	Mikrospínač
IP krytí	IP 65
Připojení	G1/4“, vnitřní závit
Hmotnost	0,22 kg
Materiály	Hliník

1.5.4. SUCO 186-458

Řada 186-458 zahrnuje tlakové spínače schopné pracovat v rozsahu 1 ... 10 barů a při teplotách až -40°C. V následující tabulce jsou uvedeny parametry pro spínač 186-458-03-1-006 (Obr. 7).

[6]



Obr. 7 - tlakový spínač SUCO [6]

Tabulka 5 - parametry tlakového spínače [6]

186-458-03-1-006	
Pracovní tlak	1 ... 10 bar
Hystereze	fixní
Max. přetlak	300 bar
Počet cyklů	200/min
Pracovní teplota	-40°C ... +100°C
Opakovatelnost	neuvedeno
Spínací prvek	neuvedeno
IP krytí	IP 65
Připojení	G1/4“, vnější závit
Hmotnost	0,1 kg
Materiály	Nerezová ocel, NBR

2. NÁVRH MECHANICKÉHO TLAKOVÉHO SPÍNAČE

Při návrhu tlakového spínače se vycházelo z požadavků zákazníka. Technické řešení bylo od začátku navrhováno s ohledem na roční výrobu 30 000 kusů.

2.1. POŽADAVKY ZÁKAZNÍKA NA SPÍNAČ – SPECIFIKACE

V následující tabulce jsou uvedeny podstatné body specifikace.

Tabulka 6 - technické požadavky na navrhovaný spínač [8]

Maximální rozměry	Průměr 60 mm, délka 120 mm			
Připojení média	ISO-228 G-1/4“ (vnější závit)			
El. Konektor	BNC DIN 72585-1			
Médium	Stlačený vzduch dle DIN ISO 8573-1			
Pracovní tlak	0,2 ... 10,5 bar			
Rozsah pracovních teplot	-55°C ... +85°C			
Opakovatelnost		-25°C ... +70°C	-40°C ... +70°C +70°C ... +85°C	-55°C ... -40°C
	0 ... 2 bar	+/-0,1 bar	+/-0,15 bar	-
	2 ... 6 bar	+/-0,15 bar	+/-0,3 bar	-
	6 ... 11 bar	+/-0,2 bar	+/-0,5 bar	-
Hystereze	Nastavitelná - min. 0,2 bar, max. 10,3 bar			
Těsnost	Max. pokles tlaku 0,05 bar z objemu 1l za 1 minutu.			
Spínací prvek	2 mikrospínače – redundantní zapojení, specifikace v příloze 1			
Krytí	IP 67			

Po prostudování technických požadavků bylo vybráno 9 mechanických tlakových spínačů různých výrobců. Protože se nepodařilo najít spínač, který by plnil všechny body specifikace, probíhal výběr tak, aby alespoň klíčové body byly pokryty. Výběr zahrnuje:

- Condor MDR-K2, K6 a K11 - nastavitelnost hystereze, redundance
- Thermis 214 002 a 411 010 - kompaktnost
- IMI Norgren mini 9950 - kompaktnost
- SUCO 186-458-03-1-006 - vysoký přetlak, max. teplota +100°C
- FESTO PEV-1/4-B - podobnost s řadou 18D-LT
- APS 106, 113, 114 a 125 - kompaktnost, cena, jednoduchost

Následovalo testování vybraných spínačů.

2.2. TESTOVÁNÍ KONKURENČNÍCH SPÍNAČŮ

V rámci testování byly ověřeny kritické parametry z hlediska funkce tlakového spínače. Protože šlo o porovnávací testování, nebyla stanovena žádná kritéria pro vyhodnocení.

Tabulka 7 – kroky testování

I.D.	Popis testu	Procedura	Počet vzorků
1	Opakovatelnost za různých teplot	Cyklus 0 – 10 bar; teploty (+20, 0, -10, -25, -40, -50, -55, +20, +70, +85, -60 °C) 5 měření spínacího bodu; zaznamenán průměr	25
2	Těsnost za různých teplot	Cyklus 0 – 10 bar; teploty (+20, 0, -10, -25, -40, -50, -55, +20, +70, +85, -60 °C) 5 měření spínacího bodu; zaznamenán průměr	25
3	Opakovatelnost po dlouhodobém natlakování	První měření rozpínacího bodu po 5 dnech při tlaku 10 barů	25

V následujících kapitolách jsou krátce shrnuty výsledky měření, které jsou díky své obsáhlosti součástí přílohy.

2.2.1. CONDOR MDR-K2, K6 A K11

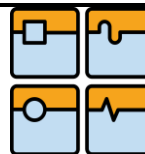
Tlakové spínače firmy Condor byly vybrány pro dobré parametry opakovatelnosti spínacího bodu, možnosti nastavení hystereze a redundanci mikrospínačů. Redundancí je myšleno, že tlakový spínač obsahuje dva mikrospínače, které spínají ve stejný okamžik. Mikrospínače jsou na sobě elektricky zcela nezávislé, v případě výpadku jednoho z nich je stále k dispozici signál druhého. Z výsledků testování je vidět výborná opakovatelnost spínacích bodů a redundance v celém teplotním rozsahu. Mikrospínače spínaly ve stejný okamžik (v rozsahu setin baru), nedostatkem se ukázala těsnost v minusových teplotách.



Obr. 8 – testované spínače Condor MDR-K2, K6 a K11

2.2.2. THERMIS 214 002 A 411 010

Tlakové spínače firmy Thermis byly vybrány pro své malé rozměry a vysokou frekvenci spínání. Dle katalogu jsou spínače určeny pro práci v teplotním rozsahu -25°C až $+85^{\circ}\text{C}$. Výsledky testování bohužel tento pracovní rozsah nepotvrdily. Při teplotě -10°C a nižší dochází k výraznému navýšení hodnoty spínacího bodu (navýšení více jak 1 bar). Testování ukázalo, že spínače jsou dobře odolné vysokým teplotám, dokonce se podařilo nasimulovat spínání až při $+120^{\circ}\text{C}$ s přijatelnou opakovatelností. Při teplotách -50°C a nižších docházelo ke značnému úniku vzduchu vlivem netěsností způsobených nízkou teplotou.




Obr. 9 – testované spínače Thermis 214 002

2.2.3. IMI NORGREN MINI 9950

Minimální rozměry a celková kompaktnost byly důvodem pro výběr tohoto typu spínačů. Na druhou stranu mezi jednoznačné nevýhody patří neopakovatelnost spínání a nemožnost individuálního nastavení spínacího bodu. Během testování spínače fungovaly v teplotním rozsahu -10°C až $+60^{\circ}\text{C}$. Při ostatních teplotách nespínaly vůbec.



Obr. 10 – testované spínače IMI Norgren Mini 9950

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.2.4. SUCO 186-458-03-1-006

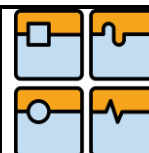
Suco jsou často používané tlakové spínače v průmyslu. Mezi jejich přednosti patří robustnost, odolnost vysokým teplotám a velkému přetlaku. Během testování spínač fungoval až do teploty -60°C , z toho do teploty -25°C byla opakovatelnost spínání do $\pm 0,15$ bar. Naopak plusové teploty jsou pro spínač problematické, tlakový spínač se choval abnormálně (zůstával stále sepnutý, případně byly sepnuty oba dva kontakty) již při překročení $+60^{\circ}\text{C}$. Těsnost spínače byla dobrá (max. naměřený únik 20 ml/min) v rámci celého teplotního rozsahu.



Obr. 11 – testovaný spínač SUCO 186-458-03-1-006

2.2.5. FESTO PEV-1/4-B

Tlakový spínač FESTO řady PEV má téměř stejnou konstrukci jako řada 18D-LT firmy IMI Norgren. Jejich podobnost byla hlavním kritériem pro výběr. Dle katalogových informací je tlakový spínač PEV použitelný v tlakovém rozsahu -20°C až $+80^{\circ}\text{C}$. Během testování se ukázalo, že opakovatelnost spínacího bodu je už při -10°C značně odlišná od původní hodnoty naměřené při pokojové teplotě. Naopak se ukázalo, že spínač pracuje dobře i za vysoké teploty až $+120^{\circ}\text{C}$. Velký únik vlivem netěsnosti se projevil až v teplotách -50°C a nižší.



Obr. 12 – testovaný spínač FESTO PEV-1/4-B

2.2.6. APS 106, 113, 114 A 125

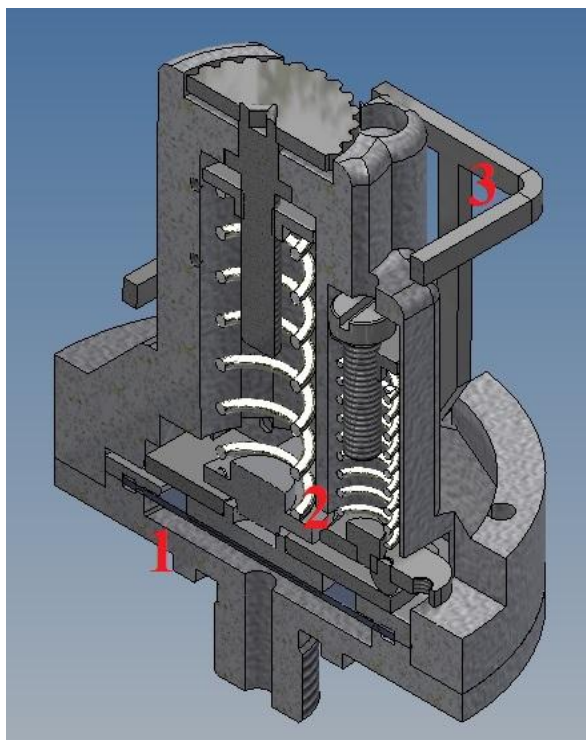
Tlakové spínače APS jsou výrobkem české firmy APS Světlá nad Sázavou. Byly vybrány pro svou kompaktnost, robustnost a cenu. Nejčastěji jsou používány v automobilech jako spínače pro olejové nebo brzdové tlakové obvody. V teplotním rozsahu -25°C až $+85^{\circ}\text{C}$ spínače měly velmi dobrou opakovatelnost spínání, stejně tak hodnoty naměřeného úniku byly v tomto rozsahu pouze do 2 ml/min.



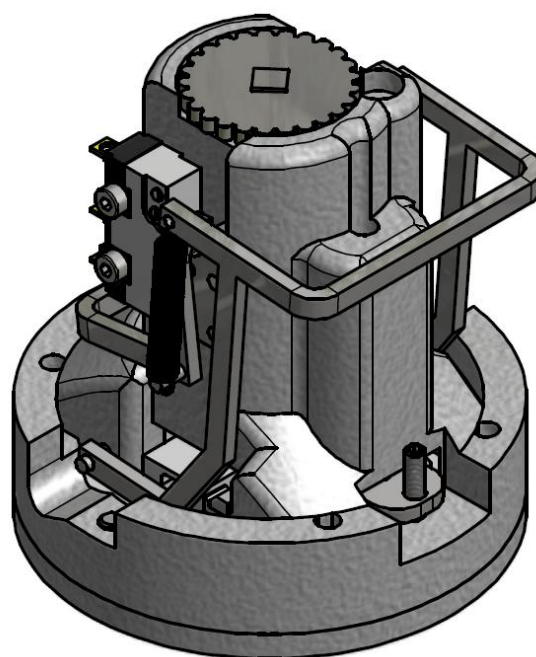
Obr. 13 - testované spínače APS 106, 116, 114 a 125

2.3. NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Principem navrženého tlakového spínače je působení tlaku na hliníkovou podložku přes silikonovou membránu. Síla dále od podložky působí pomocí páky na soustavu dvou tlačných pružin. Předepnutím těchto dvou pružin se nastaví spínací/rozpínací bod. Jakmile tlak vzroste na hodnotu nastaveného spínacího bodu, dojde k překonání zvrtného bodu synchronizačního mechanismu. Tímto dojde k současnému sepnutí obou mikrospínačů (Obr. 14 a 15). Pro prvotní ověření funkčnosti všech mechanismů byl navržen spínač pro pracovní rozsah 0,2 – 2 bary. Popis návrhu konstrukce je rozdělen do 4 částí. První podkapitola popisuje princip nastavitelnosti hystereze, druhá přenos tlaku, třetí synchronizaci mikrospínačů a ve čtvrté je popsána implementace mechanismů do samotného spínače.



Obr. 14 řez spínačem



Obr. 15 návrh prototypu

- 1 – přenos tlaku
- 2 – nastavitelnost hystereze
- 3 – synchronizace mikrospínačů

2.3.1. NASTAVITELNOST HYSTEREZE

Pro správné vysvětlení navrženého principu je potřeba vysvětlit hysterizi samotného mikrospínače, proto byla kapitola rozdělena do dvou částí.

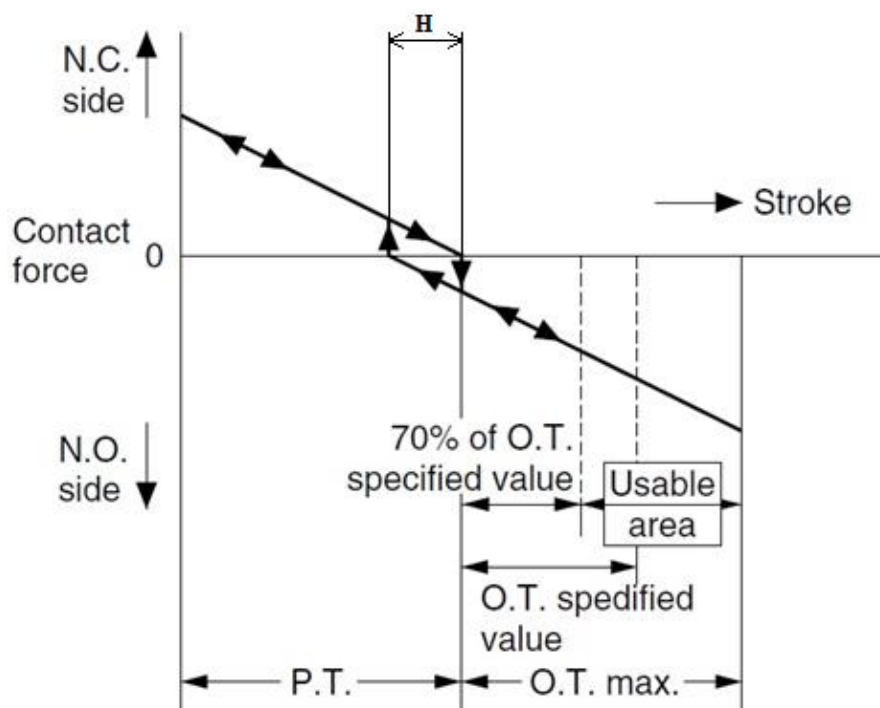
2.3.1.1. VLASTNÍ HYSTEREZE MIKROSPÍNAČE

Na základě dlouhodobých zkušeností z jiných aplikací byly pro návrh vybrány mikrospínače firmy Panasonic AVL3205613 s hysterezí 0,1 mm (Obr. 16), což odpovídá tlaku 0,1 baru. Tímto byl splněn požadavek na minimální hysterizi 0,2 baru.



Obr. 16 - mikrospínač Panasonic [9]

Pro vysvětlení hysterize mikrospínačem použijeme následující obrázek (Obr. 17), kde je vidět změna stavu mikrospínače v závislosti na zdvihu jeho tlačítka.



Obr. 17 – graf chování mikrospínače [9]

P.T. – „pretravel“; vzdálenost od volné polohy tlačítka po polohu jeho aktivace

H – „hystereze“; rozdíl mezi bodem sepnutím a bodem rozepnutím mikrospínače

O.T. – „overtravel“; vzdálenost od aktivace tlačítka po jeho koncovou polohu

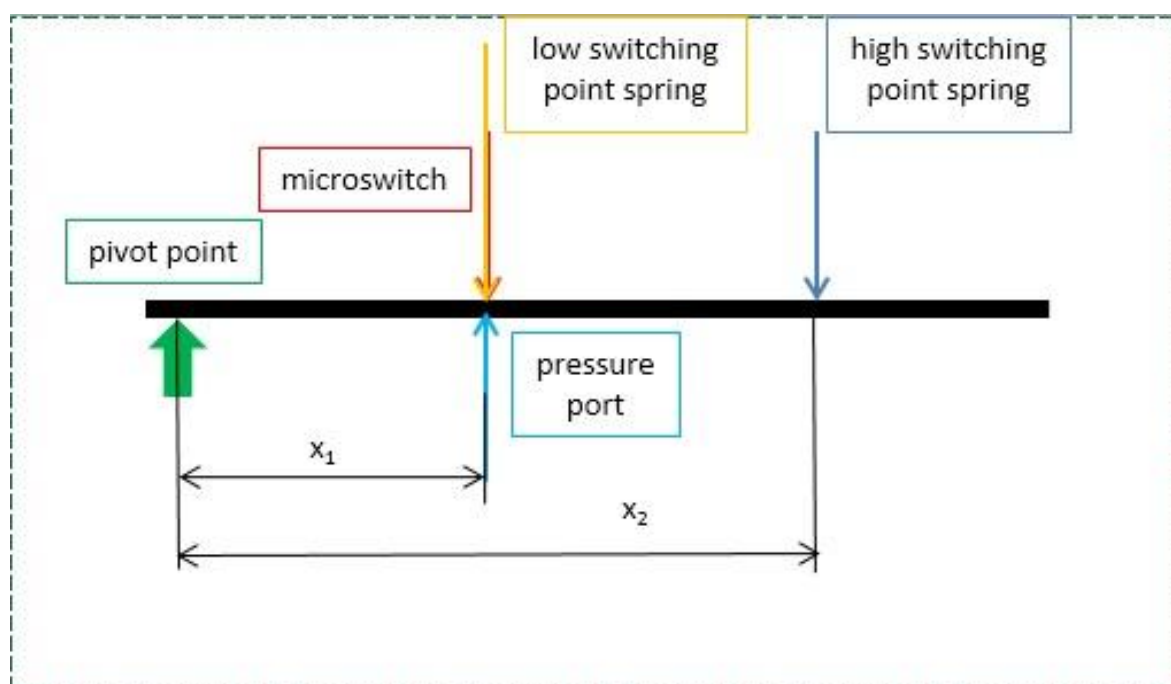
Usable area – pro spolehlivé fungování mikrospínače musí být jeho tlačítko stlačeno až do této vzdálenosti

[9]


Působením síly na tlačítko mikrospínače dojde k překonání vzdálenosti „P. T.“, tím se změní stav mikrospínače (sepnutí). Pro spolehlivé fungování musí být tlačítko mikrospínače posunuto minimálně do 70% hodnoty „O. T.“, dalším posouváním tlačítka zůstává elektrický stav mikrospínače nezměněn. Při zpětném pohybu tlačítka nedojde k rozepnutí mikrospínače ve stejné vzdálenosti „P. T.“, ale až ve vzdálenosti „P. T. – hystereze mikrospínače“

2.3.1.2. HYSTEREZE TLAKOVÉHO SPÍNAČE

Pro splnění požadavku nastavitelnosti hystereze tlakového spínače byla použita druhá, diferenční pružina. Pružiny byly umístěny, tak aby jejich síly nepůsobily v jedné ose, ale jsou rozmístěny na páce s otočným bodem. Na následujícím obrázku je schéma rozmístění jednotlivých prvků (Obr 18).



Obr. 18 – schéma rozmístění prvků na páce

Str. 30	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Konstrukce je navržena tak, že je možné horizontálně nastavovat polohu kontaktu podložky diferenční pružiny a páky. Tím se zároveň mění délka dráhy páky, kterou je potřeba vykonat pro dosažení tohoto kontaktu. Díky tomu lze nastavit diferenční pružinu tak, aby její moment síly začal působit při poloze tlačítka mikrospínače „(P. T. – 0,5 x H)“, tj. mezi body sepnutí/rozepnutí. Při tomto nastavení bude docházet k aktivaci diferenční pružiny vždy před bodem sepnutí při rostoucím tlaku a k deaktivaci vždy před bodem rozepnutí při klesajícím tlaku.

Pro sepnutí mikrospínačů platí nerovnice.

$$F_p \times x_1 > F_{S1} \times x_1 + F_{S2} \times x_2$$

Pro rozepnutí mikrospínačů platí nerovnice.

$$F_p \times x_1 < F_{S1} \times x_1$$

kde:

F_p - síla vyvolaná tlakem

F_{S1} - síla hlavní pružiny

F_{S2} - síla diferenční pružiny

x_1 - vzdálenost otočného bodu od F_{S1} a F_p

x_2 - vzdálenost otočného bodu od F_{S2}

Z výše uvedeného plyne, že pro nastavení dolního (rozpínacího) tlaku slouží pouze hlavní pružina a pro nastavení horního (spínacího) tlaku je potřeba k již nastavené hlavní pružině použít a nastavit diferenční pružinu.

2.3.2. PŘENOS TLAKU

Pro přenos tlaku na sílu působící na tlačnou pružinu F_{S1} byla použita silikonová membrána a hliníková podložka.

Výsledná síla vyvolaná tlakem vychází ze vztahu:

$$F_p = p \times S$$

$$S = \pi \times r^2$$

F_p – síla vyvolaná tlakem [N]

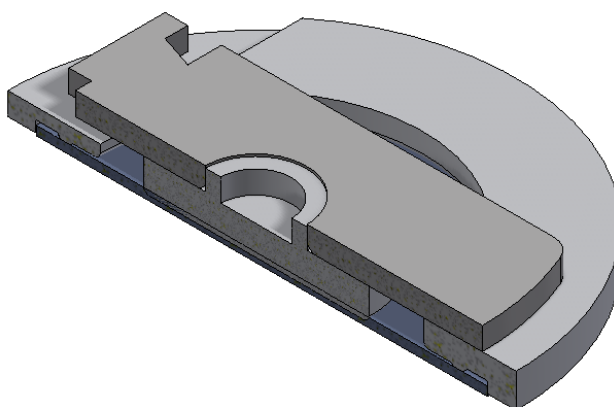
p – tlak [Pa]

S – plocha na kterou působí tlak [m²]





r – poloměr hliníkové podložky

Podložka – EN AW 6082

Pro pracovní tlak v rozsahu 0,2 – 2 bary byl zvolen průměr podložky 20 mm. Tomuto průměru se rovná síla v rozsahu 6,2 – 62,8 N, která působí dále na páku ve vzdálenosti 16,5 mm od jejího otočného bodu. Spojení podložky s pákou je provedeno zalisováním. (Obr. 19)

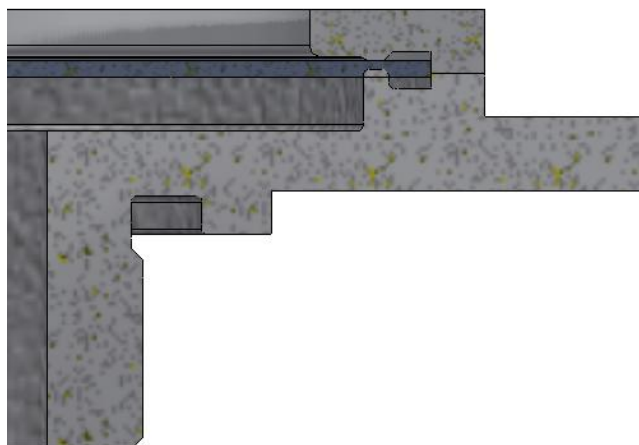


Obr. 19 – detail spojení podložky s pákou

Str. 32	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

Silikonová membrána

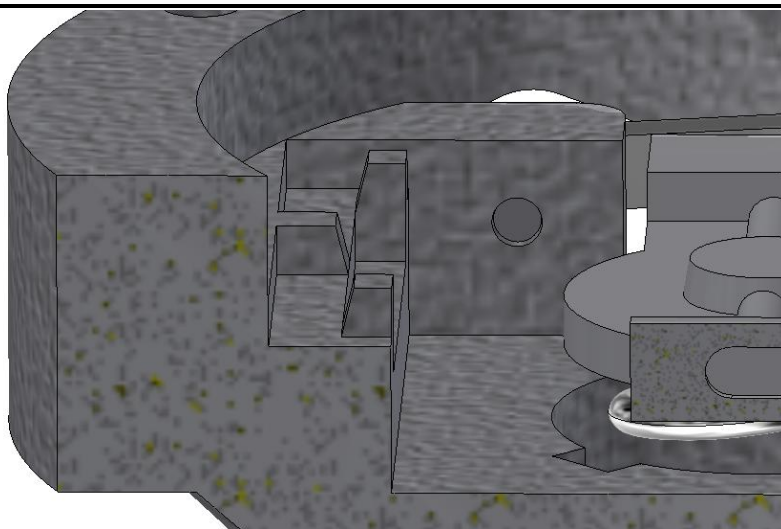
Použitý průměr membrány (40 mm) je pro všechny tlakové rozsahy stejný, vliv jejího průměru na výslednou sílu je zanedbatelný a lze jej případně kompenzovat samotným nastavením tlakového spínače. Materiál membrány byl volen s ohledem na požadovanou životnost a teplotní rozsah použití. Membrána je složená ze silikonu (VMQ) a je vyztužená vlákny polyarylamidu. Fixace silikonové membrány byla provedena přes hliníkové podložky tak, aby bylo dosaženo její komprese 30%. Na následujícím obrázku je detail fixace. (Obr. 20)



Obr. 20 – detail fixace membrány

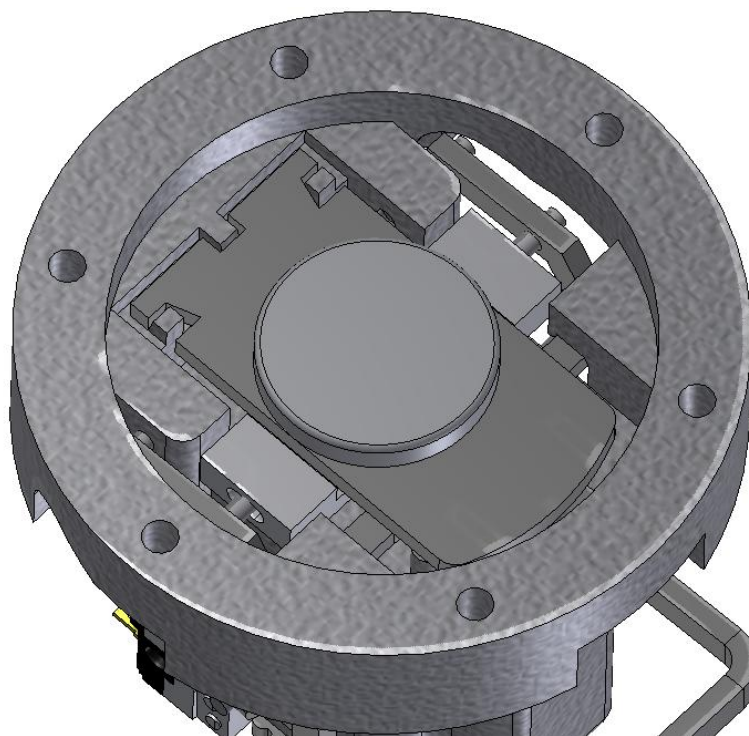
Ukotvení páky

Návrh ukotvení páky v těle spínače je proveden způsobem, který eliminuje tření při jejím pohybu a její posun směrem do stran. Na obrázku níže (Obr. 21) je zobrazen detail ukotvení v těle, konstrukce byla provedena tak, aby se páka otáčela přes hranu, která je společná pro všechny 3 výstupky. Zároveň tyto výstupky brání podélnému pohybu páky.

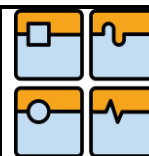


Obr. 21 – detail ukotvení v těle spínače

Na obrázku 22 je vidět páka vložená mezi výstupky do těla spínače.



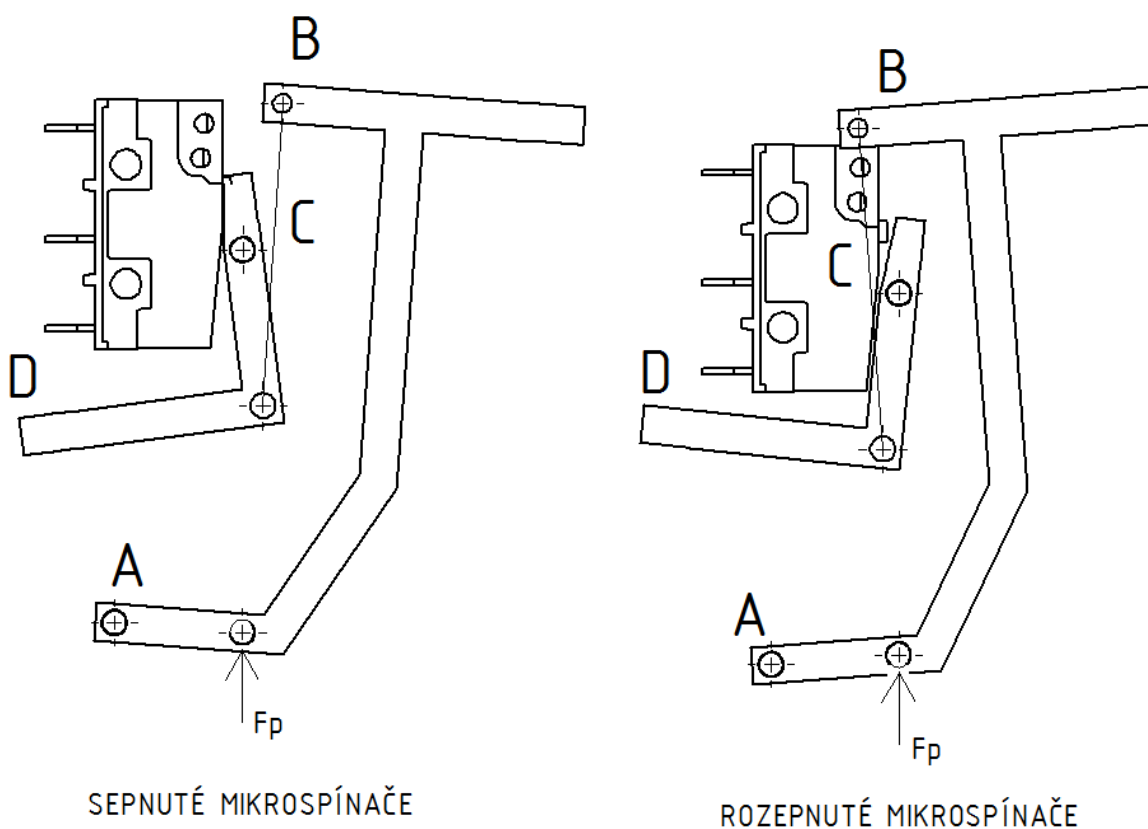
Obr. 22 – vložená páka do ukotvení



2.3.3. SYNCHRONIZACE MIKROSPÍNAČŮ

Jedním z požadavků na tlakový spínač je redundance mikrospínačů, hlavním důvodem je zabezpečení pro případ poruchy jednoho z nich. Proto bylo potřeba navrhnout konstrukci takovým způsobem, aby oba mikrospínače spínaly/rozpínaly vždy při stejné hodnotě tlaku. Této funkce bylo dosaženo použitím pák spolu s tažnými pružinami. (Obr. 23 a 24). V rámci prototypu byl tento mechanismus vyroben z nerezového plechu tloušťky 2 mm. Pro sériovou výrobu bude mechanismus upraven tak, aby bylo možné ho vyrábět technologií vstřikování plastu.

Princip je vidět na následujících obrázcích.



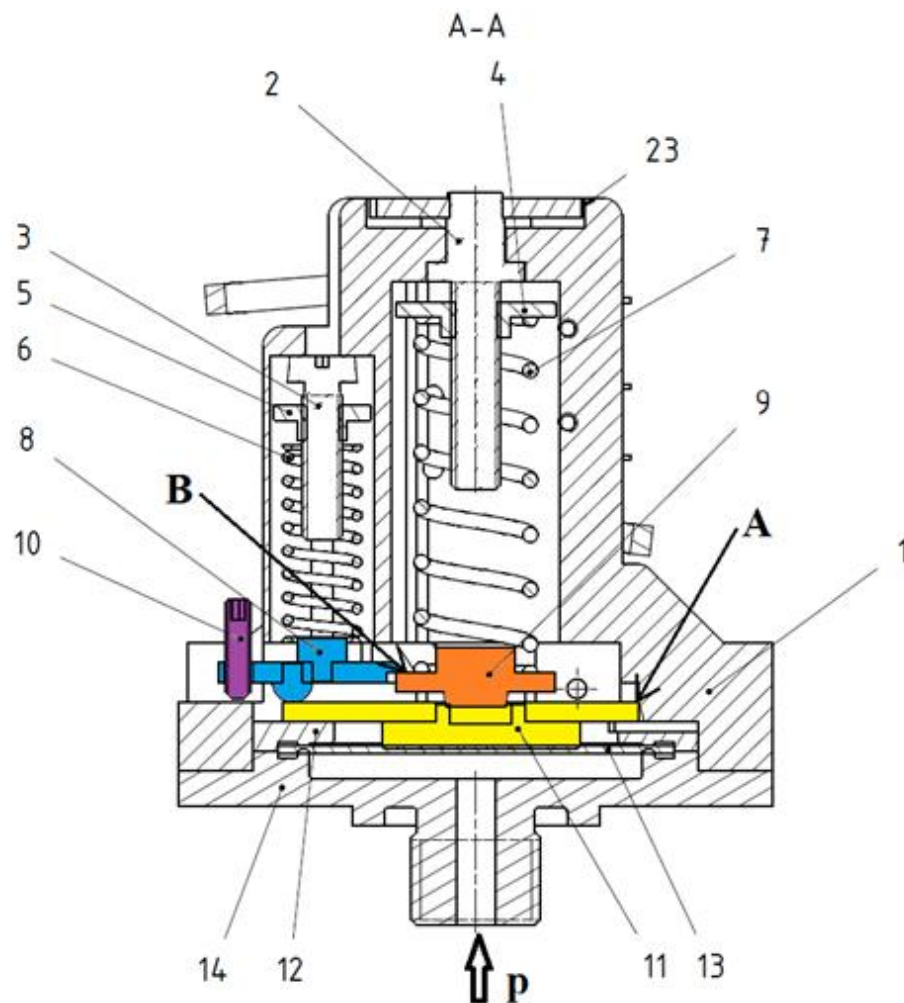
Obr. 23 – stav sepnuto ($F_p < F_{S1} + F_{S2}$) Obr. 24 – rozepnuto ($F_p > F_{S1} + F_{S2}$)

Působením síly F_p dojde k natočení mechanismu v bodě „A“, tím dojde k posunutí bodu „B“ směrem vlevo. Při tomto pohybu bodu „B“ dojde k překonání zvrtného bodu a síla tažných pružin „C“ překlápí páky „D“ do polohy rozepnuto. Tímto je zaručeno, že mikrospínače budou vždy rozpínat/spínat při stejné hodnotě tlaku.



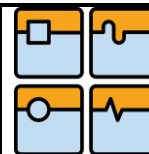
2.3.4. IMPLEMENTACE MECHANISMŮ

Pro implementaci navržených mechanismů bylo zkonstruováno tělo spínače s rotačně symetrickým výchozím tvarem. Pružiny spolu s pákou, na které působí, byly integrovány dovnitř a synchronizační mechanismus je na vnější části spínače. Na následujících dvou obrazcích (Obr. 25 a 26) jsou popsány jednotlivé komponenty spínače a jejich funkce.



Obr. 25 – řez spínačem

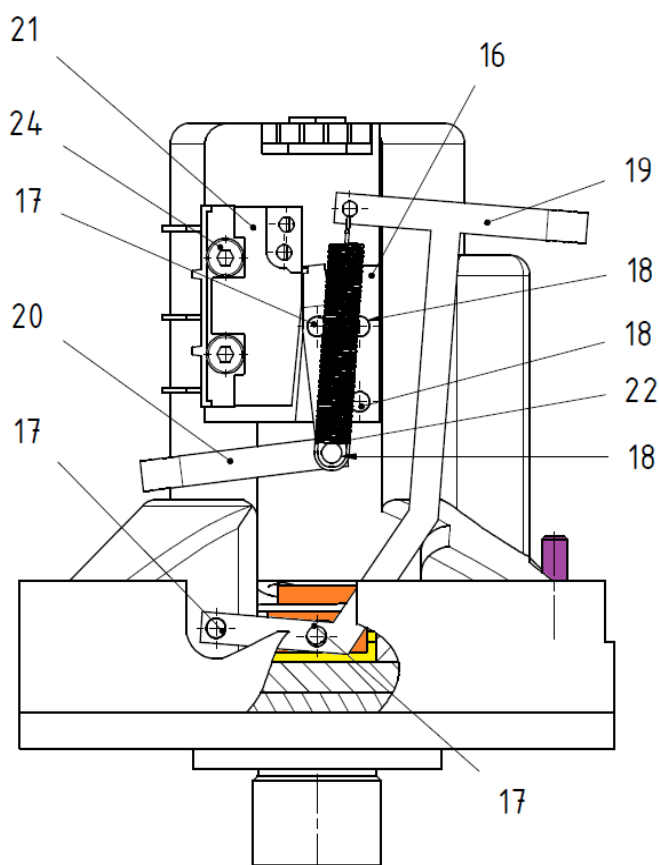
- Pozice 1 - tělo spínače
- Pozice 2 - nastavovací šroub hlavní pružiny; posuvem podložky (pozice 4) stlačuje hlavní pružinu a nastavuje rozpínací tlak
- Pozice 3 - nastavovací šroub diferenční pružiny; v závislosti na nastavení hlavní pružiny nastavuje posuvem podložky (pozice 5) spínací tlak
- Pozice 4 - podložka hlavní pružiny




- Pozice 5 - podložka diferenční pružiny
 Pozice 6 - diferenční pružina nastavující spínací
 Pozice 7 - hlavní pružina nastavující rozpínací tlak
 Pozice 8 - podsestava páky diferenční pružiny
 Pozice 9 - podložka hlavní pružiny
 Pozice 10 - šroub pro nastavení polohy podsestavy páky diferenční pružiny
 Pozice 11 - podsestava páky hlavní pružiny
 Pozice 12 - přítlačný disk membrány
 Pozice 13 - silikonová membrána
 Pozice 14 - přítlačný disk membrány
 Pozice 23 - kolo s profilem TORX T30 pro otáčení s nastavovacím šroubem

A – otočný bod žlutě označené podsestavy páky s podložkou (pozice 11)

B – otočný bod modře označené podsestavy páky s piny (pozice 8)



Obr. 26 – tlakový spínač

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pozice 16 - držák spínací synchronizační páky

Pozice 17 - otočný čep synchronizační páky

Pozice 18 - kolík

Pozice 19 - synchronizační páka

Pozice 20 - spínací synchronizační páka

Pozice 21 - mikrospínač

Pozice 22 - pružina synchronizace

Pozice 24 - upevňovací šroub

2.3.4.1. POPIS CYKLU SPÍNAČE


K následujícímu textu se vztahují obrázky 25 a 26.

Tlak vstupující portem p působí na podsestavu páky s kruhovou podložkou (pozice 11). Moment síly tlaku F_p způsobí, že žlutá páka se začne otáčet kolem bodu A ve směru proti momentu síly F_{S1} hlavní tlačné pružiny (pozice 7) a současně pohybuje s oranžovou podložkou pružiny (pozice 9) směrem nahoru. Kontakt podložky a páky (9 a 11) je navržen jako kyvný, tzn. dno podložky, o které se zapírá pružina, je vždy kolmé vůči ose pružiny. Oranžová podložka je pomocí čepu (pozice 17) spojena se synchronizační pákou (pozice 19). Tímto spojením je přenášen pohyb směrem nahoru a synchronizační páka se otáčí kolem svého čepu. Tento pohyb způsobuje natahování tažné pružiny (pozice 22). Momenty sil, které proti sobě působí na žluté páce, jsou F_p a F_{S1} .

Po překonání nastavené dráhy (viz. kapitola 2.3.2.1) volného konce žluté podsestavy páky (síly F_p) se tento konec dostane do kontaktu s modře vyznačenou podsestavou páky (pozice 8). Délka této dráhy je nastavená pomocí fialového šroubu (pozice 10). Tím je zaručeno, že ke kontaktu dojde před sepnutím mikrospínačů a pohyb žluté páky se zastaví. Momenty sil, které proti sobě působí na žluté páce, jsou F_p a $(F_{S1} + F_{S2})$.

Poté co moment síly F_p překoná momenty sil $F_{S1} + F_{S2}$, se žlutá páka dá opět do pohybu spolu s modrou. Oranžová podložka se také posune směrem nahoru a tím pootočí se synchronizační pákou. Tato natáhne tažnou pružinu a po překonání zvrtného bodu, tažná pružina překlopí synchronizační mechanismus do polohy sepnuto a dojde k současnému sepnutí mikrospínačů.

Při následném poklesu tlaku se pohybuje žlutá páka, modrá pákou a oranžová podložka směrem dolů. Oranžová podložka pohybuje se synchronizační pákou

Str. 38	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

směrem dolů a tím opět natahuje tažnou pružinu. Před překonáním vzdálenosti pohybu tlačítka mikrospínače „*P. T. – H*“ (nastavená dráha žluté páky pomocí fialového šroubu) přestane působit diferenční pružina (ztráta kontaktu mezi žlutou a modrou pákou). Tím dojde k zastavení pohybu všech částí jednotlivých mechanismů. Momenty sil, které proti sobě působí na žluté páce, jsou F_P a F_{SI} .

Poté co moment síly F_{SI} překoná momenty síly F_P , se žlutá páka dá opět do pohybu spolu s oranžovou podložkou. Oranžová podložka otáčí synchronizační pákou směrem dolů. Tato natáhne tažnou pružinu a po překonání zvrátneho bodu tažná pružina překlopí synchronizační mechanismus do výchozí polohy rozepnuto a dojde k současnému rozepnutí mikrospínačů.

2.3.5. TECHNICKÉ VÝPOČTY

Následující kapitola obsahuje jednotlivé výpočty použité při návrhu tlakového spínače.

2.3.5.1. PŘENOS TLAKU

2.3.5.1.1. VÝPOČET SÍLY VYVOLANÉ TLAKEM

Počítaná veličina

$$F_p = ? \text{ N} \quad (\text{síla vyvolaná tlakem})$$

Vstupní hodnoty

$$r = 10 \text{ mm} \quad (\text{poloměr hliníkové podložky})$$

$$p_{\min} = 0,2 \text{ bar} \quad (\text{minimální tlak - rozpínací})$$

$$p_{\max} = 2 \text{ bar} \quad (\text{maximální tlak - spínací})$$

Převod jednotek do jednotek soustavy SI.

$$d = 0,01 \text{ m} \quad (\text{průměr hliníkové podložky})$$

$$p_{\min} = 20 \cdot 10^3 \text{ Pa} \quad (\text{minimální tlak - rozpínací})$$

$$p_{\max} = 200 \cdot 10^3 \text{ Pa} \quad (\text{maximální tlak - spínací})$$

Výchozí rovnice

$$F_p = p \times S$$

$$F_p = p \times \pi \times r^2$$

Síla minimálního (rozpínacího tlaku)

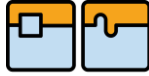

$$F_{p \min} = 20 \times 10^3 \times \pi \times 0,01^2$$

$$F_{p \min} = 6,28 \text{ N}$$

Síla maximálního (spínacího tlaku)

$$F_{p \max} = 200 \times 10^3 \times \pi \times 0,01^2$$

$$F_{p \max} = 62,8 \text{ N}$$

Str. 40	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.3.5.1.2. KONTROLNÍ VÝPOČET PRACOVNÍCH SIL HLAVNÍ PRUŽINY

Počítaná veličina

$F_1 = ? \text{ N}$ (síla při minimálním stlačení hlavní pružiny F_{S1})

$F_2 = ? \text{ N}$ (síla při maximálním dovoleném stlačení hlavní pružiny F_{S1})

Vstupní hodnoty

$k = 3,77 \text{ N/mm}$ (tuhost pružiny)

$L_0 = 36,00 \text{ mm}$ (volná délka pružiny)

$L_1 = 35,47 \text{ mm}$ (pracovní délka L_1)

$L_2 = 18,00 \text{ mm}$ (pracovní délka L_2)

Výchozí rovnice

$$F = k \times x$$

Kde „ x “ je stlačení pružiny

Síla pružiny při délce L_1

$$F_1 = k \times (L_0 - L_1)$$

$$F_1 = 3,77 \times (36 - 35,47)$$

$$F_1 = 1,9 \text{ N}$$

Síla pružiny při délce L_2

$$F_2 = k \times (L_0 - L_2)$$

$$F_2 = 3,77 \times (36 - 18)$$

$$F_2 = 67,8 \text{ N}$$

2.3.5.1.3. POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH SIL HLAVNÍ PRUŽINY A TLAKU

Pro rozepnutí tlakového spínače při minimálním tlaku (0,2 baru) musí platit nerovnice:

$$F_{p \min} < F_{S1}$$

Pro sepnutí tlakového spínače při maximálním tlaku (2 bary) musí platit nerovnice:

$$F_{p \max} > F_{S1}$$

Vypočtené hodnoty sil

$$F_{p \text{ min}} = 6,28 \text{ N}$$

$$F_{p \text{ max}} = 62,8 \text{ N}$$

$$F_{S1 \text{ min}} = 1,9 \text{ N}$$

$$F_{S1 \text{ max}} = 67,8 \text{ N}$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že navrženou pružinu je možné nastavit v širším rozsahu, než je rozsah sil vyvolaných tlakem v rozmezí 0,2 ... 2 bary. Navržená pružina je pro aplikaci vhodná.

2.3.5.2. NASTAVITELNOST HYSTEREZE

Pro zajištění nastavitelnosti hystereze byla navržena druhá diferenční pružina F_{S2} . Jak bylo uvedeno v kapitole 2.3.2, pozice této pružiny je nastavena tak, aby byla aktivní vždy po překročení vzdálenosti „ $P. T. - 0,5 \times \text{hystereze mikropínače}$ “ při vzrůstajícím tlaku. Zároveň při klesajícím tlaku musí dojít k její deaktivaci před dosažením vzdálenosti „ $P. T. - \text{hystereze mikropínače}$ “.

Při použití diferenční pružiny platí rovnice:

$$F_p > F_{S1} + F_{S2} \quad \text{pro stav sepnuto}$$

$$F_p < F_{S1} \quad \text{pro stav rozepnuto}$$

2.3.5.2.1. KONTROLNÍ VÝPOČET PRACOVNÍCH SIL DIFERENČNÍ PRUŽINY

Počítaná veličina

$$F_1 = ? \text{ N} \quad (\text{síla při minimálním stlačení diferenční pružiny } F_{S2})$$

$$F_2 = ? \text{ N} \quad (\text{síla při maximálním dovoleném stlačení diferenční pružiny } F_{S2})$$

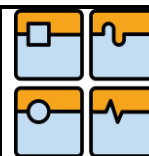
Vstupní hodnoty

$$k = 3,64 \text{ N/mm} \quad (\text{tuhost pružiny})$$

$$L_0 = 20,00 \text{ mm} \quad (\text{volná délka pružiny})$$

$$L_1 = 19,45 \text{ mm} \quad (\text{pracovní délka } L_1)$$

$$L_2 = 11,00 \text{ mm} \quad (\text{pracovní délka } L_2)$$

**Výchozí rovnice**

$$F = k \times x$$

Kde „x“ je stlačení pružiny

Síla pružiny při délce L_1

$$F_1 = k \times (L_0 - L_1)$$

$$F_1 = 3,64 \times (20 - 19,45)$$

$$F_1 = 2,0 \text{ N}$$

Síla pružiny při délce L_2

$$F_2 = k \times (L_0 - L_2)$$

$$F_2 = 3,64 \times (20 - 11)$$

$$F_2 = 32,8 \text{ N}$$

2.3.5.2.2. POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH SIL PRUŽIN A TLAKU

Následující rovnice jsou platné v případě použití obou pružin (hlavní a diferenční). Pro rozepnutí tlakového spínače při minimálním tlaku (0,2 baru) musí platit nerovnice:

$$F_{p \min} < F_{S1}$$

Pro sepnutí tlakového spínače při maximálním tlaku (2 bary) musí platit nerovnice:

$$F_{p \max} > F_{S1} + F_{S2}$$

Vypočtené hodnoty sil

$$F_{p \min} = 6,28 \text{ N}$$

$$F_{p \max} = 62,8 \text{ N}$$

$$F_{S1 \min} = 1,9 \text{ N}$$

$$F_{S1 \max} = 67,8 \text{ N}$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že navrženou pružinu je možné nastavit v širším rozsahu, než je rozsah sil vyvolaných tlakem v rozmezí 0,2 ... 2 bary. Navržená pružina je pro aplikaci vhodná.

**2.3.5.3. SYNCHRONIZACE MIKROSPÍNAČŮ**

Pro zajištění současného spínání/rozpínání obou použitých mikrospínačů byl navržen mechanismus popsáný v kapitole 2.3.3. Pro jeho správnou funkci bylo potřeba navrhnout tažné pružiny, které zajistí stlačení tlačítek mikrospínačů. Výpočet potřebné síly synchronizačních pružin je uveden níže.

Počítaná veličina

$F_{S3} = ? \text{ N}$ (minimální síla synchronizační pružiny F_{S3} , nutná pro stlačení tlačítka mikrospínače)

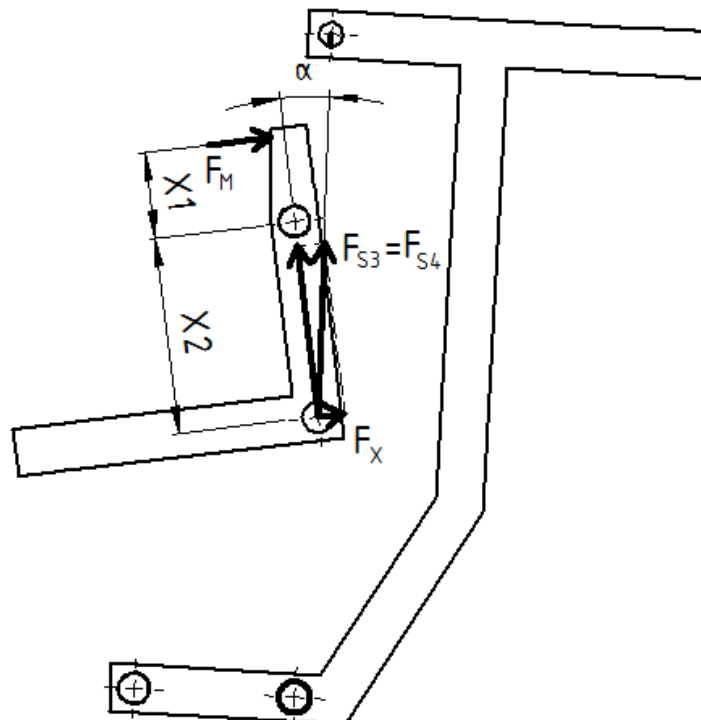
$F_{S4} = ? \text{ N}$ (minimální síla synchronizační pružiny F_{S4} , nutná pro stlačení tlačítka mikrospínače)

Vstupní hodnoty

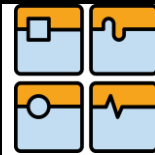
$F_M = 1,5 \text{ N}$ (ovládací síla tlačítka mikrospínače)

$x_1 = 6,00 \text{ mm}$ (vzdálenost působíště síly F_M od osy otáčení)

$x_2 = 12,00 \text{ mm}$ (vzdálenost působíště síly F_{S3} od osy otáčení)

Schéma rozmístění sil

Obr. 27 – schéma rozmístění sil

**Výchozí rovnice**

$$F_M \times x_1 = F_x \times x_2$$

$$F_M \times x_1 = F_{S3} \times \sin \alpha \times x_2$$

$$F_{S3} = \frac{F_M \times x_1}{\sin \alpha \times x_2}$$

Dosazením hodnot

$$F_{S3} = \frac{1,5 \times 6}{\sin 10,63^\circ \times 12}$$

$$F_{S3} = \frac{9}{2,213}$$

$$F_{S3} = 4,06N$$

$$F_{S3} = F_{S4}$$

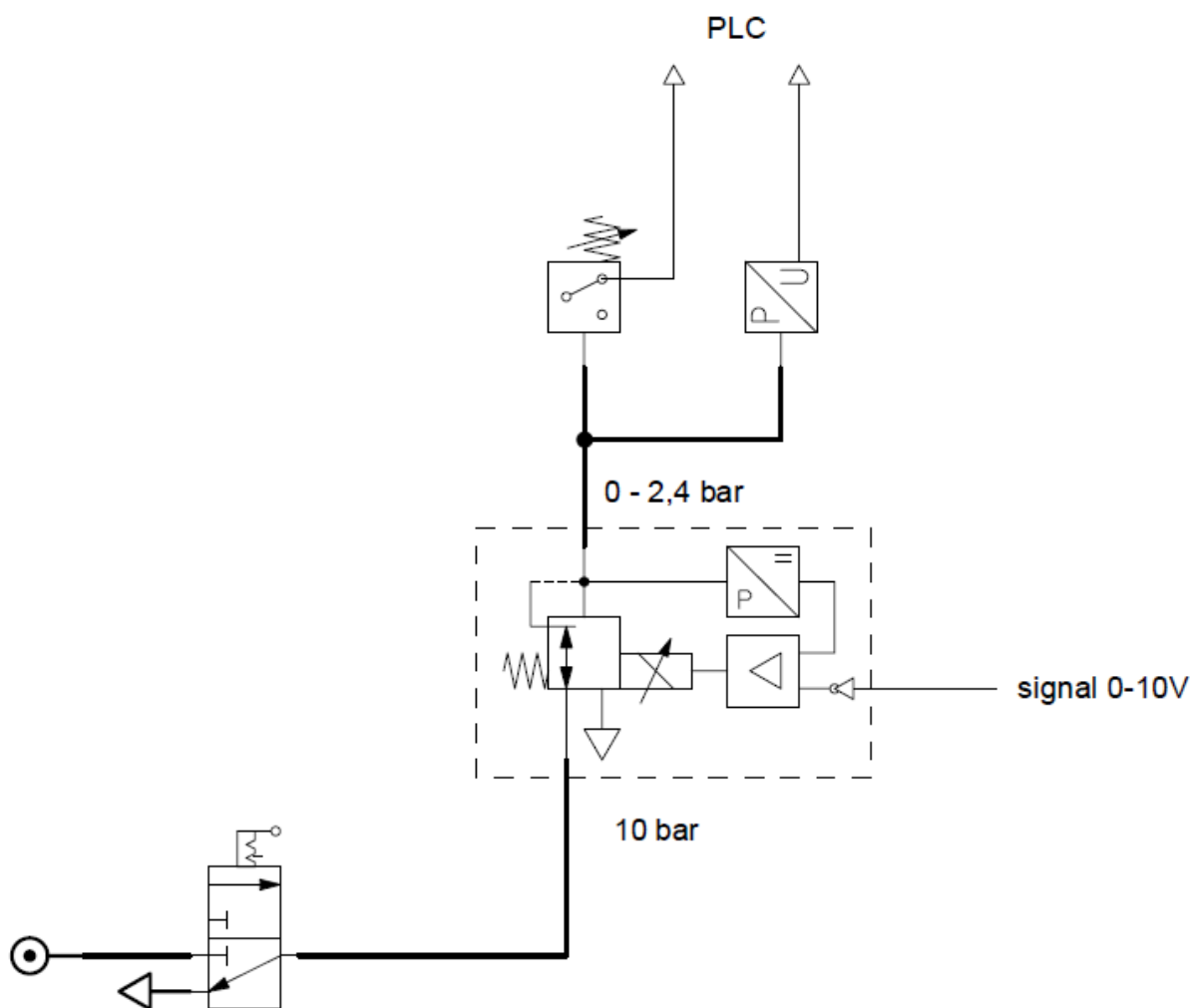
Minimální síla obou navrhovaných pružin v zástavbě musí být 4,06 N pro výrobu prototypu byly vybrány pružiny o síle 6 N z katalogu dodavatele. Tímto byl splněn předpoklad pro sepnutí mikropsínačů.

2.3.6. TESTOVÁNÍ NÁVRHU KONSTRUKCE

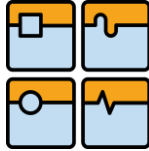
Pro potvrzení správné funkce navržených mechanismů bylo provedeno testování opakovatelnosti nastavených spínacích bodů a kontrola rozsahu nastavitelnosti hystereze. Požadavkem bylo ověření mechanismů navrženého prototypu, proto byly testy prováděny za pokojové teploty (23°C). Testy životnosti budou prováděny na finální verzi spínače.

Princip a podmínky testování

Tlakový spínač byl připojen do pneumatického obvodu, který popisuje schéma na obrázku 28.



Obr. 28 – schéma pneumatického obvodu

Str. 46	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Zdroj tlaku – pneumatický obvod je připojen na zdroj tlaku o velikosti 10barů

Kulový ventil – slouží k otevření/uzavření pneumatického obvodu

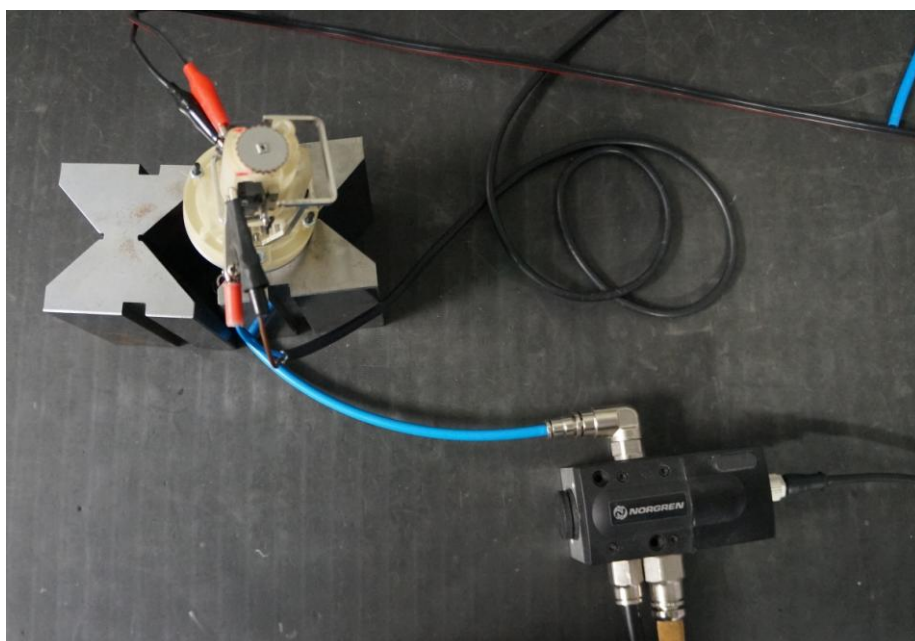
Proporcionální ventil VP50 – použit pro plynulou regulaci tlaku v rozmezí 0 – 2,4 baru, regulace je ovládána přes PLC S-200,

Tlakový snímač Keller – použit pro zaznamenání hodnoty tlaku při sepnutí spínače


Testovaný spínač

Pro sběr dat bylo použito měřicí zařízení Dewetron DEWE-43. Zapojením kontaktů mikrospínačů testovaného prototypu a výstupů z tlakových snímačů Keller do DEWE-43 bylo možné zaznamenat stavy mikrospínačů v závislosti na hodnotě tlaku v obvodu. Tímto způsobem byl vyhodnocen spínací/rozpínací bod testovaného prototypu.

Principem testování spínacích bodů a hystereze je kontrolování spínacích a rozpínacích tlaků za konstantní rychlosti změny tlaku. Při testování je tlak v obvodu navyšován rychlostí 0,5 bar/s z hodnoty 0 baru do 120% maximálního provozního tlaku testovaného prototypu, v tomto případě tedy do 2,4 baru. Stejná rychlost změny tlaku je nastavena i pro pokles tlaku. Během každého cyklu (0 bar – 2,4 bar – 0 bar) jsou pomocí tlakových snímačů kontrolovány spínací/rozpínací body. Celkový počet měření pro jednotlivá nastavení byl stanoven na 5 opakování.



Obr. 29 – zapojení testovaného prototypu

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Prvním krokem bylo nastavení spínacího bodu a hystereze. Rozmístění ovládacích prvků spínače je uvedeno na obrázku 30.

Spínací tlak 2 bary/rozpínací tlak 0,2 baru

Hodnota tlaku v obvodu byla nastavena na 0,2 baru a stlačena hlavní pružina (stav rozepnutého spínače – stlačená tlačítka mikrospínače). Postupným povolováním hlavní pružiny došlo k sepnutí spínače (uvolnění tlačítek mikrospínačů). Tím byl přednastaven rozpínací tlak 0,2 baru. Po tomto přednastavení proběhla kontrola. Tlak byl navýšen na 2,4 baru (sepnuto) a při jeho plynulém poklesu rychlostí 0,5 bar/s byla sledována hodnota tlaku při rozepnutí spínače. V případě potřeby proběhlo doladění stlačením/povolením pružiny.

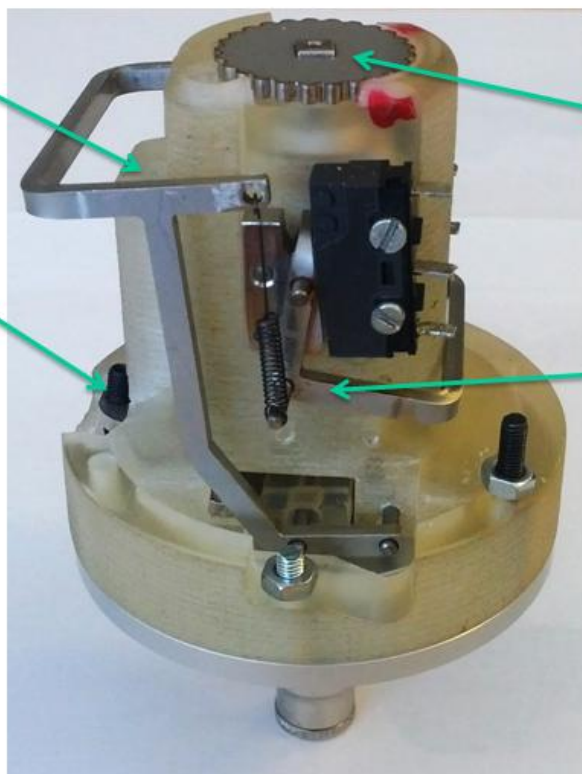
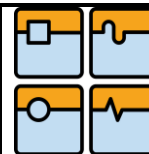
Pro nastavení spínacího tlaku 2 bary byl zvýšen tlak na tuto hodnotu a povolena diferenční pružina. Pozice diferenční pružiny se nastavila, tak aby pružina byla vždy aktivní (povolením nastavovacího šroubu). Postupným stlačováním diferenční pružiny došlo k rozepnutí spínače (stlačení tlačítek mikrospínačů). Tím byl přednastaven spínací tlak 2 bary. Po tomto přednastavení proběhla kontrola. Tlak byl snížen na 0 baru (rozepnuto) a při jeho plynulém nárůstu rychlostí 0,5 bar/s byla sledována hodnota tlaku při sepnutí spínače. V případě potřeby proběhlo doladění stlačením/povolením diferenční pružiny.

Nastavení polohy aktivace/deaktivace diferenční pružiny mezi body sepnutí a rozepnutí bylo provedeno postupným povolováním jejího nastavovacího šroubu. Po každém povolení bylo potřeba zkontrolovat, zdali bylo již dosaženo správné pozice. Ověření správné polohy diferenční pružiny proběhlo kontrolou spínacího a rozpínacího bodu (2 bary a 0,2 baru).

Spínací tlak 0,3 baru/rozpínací tlak 0,2 baru

Nastavení rozpínacího tlaku 0,2 baru proběhlo stejným způsobem jako v předchozím případě. Diferenční pružina byla deaktivována (nastavovací šroub zašroubován) a spínací tlak 0,3 baru je dán konstrukcí.

Pro obě nastavení bylo provedeno 5 měření, výsledky jsou uvedeny v následující kapitole.



Obr. 30 – pozice ovládacích prvků prototypu

2.4. VYHODNOCENÍ


Testování navržené konstrukce potvrdilo principy jednotlivých mechanismů. Prototyp dokáže spínat v rozsahu 0,2 ... 2 bary s nastavitelností hystereze v rozsahu 0,1 ... 1,8 baru. Redundance mikrospínačů bylo dosaženo použitím synchronizačního mechanismu s pružinami, díky tomu mikrospínače spínají při stejném tlaku. V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky testování synchronizace a opakovatelnosti za pokojové teploty:

Tabulka 9. – výsledky pro nastavení – 0,3 bar sepnuto/0,2 bar rozepnuto

I.D.	ON 0,3 bar		OFF 0,2 bar	
	Mikrospínač 1	Mikrospínač 2	Mikrospínač 1	Mikrospínač 2
1	0,35 bar	0,35 bar	0,21 bar	0,21 bar
2	0,31 bar	0,31 bar	0,17 bar	0,17 bar
3	0,38 bar	0,38 bar	0,20 bar	0,20 bar
4	0,36 bar	0,36 bar	0,18 bar	0,18 bar
5	0,33 bar	0,33 bar	0,21 bar	0,21 bar
Průměr	0,34 bar	0,34 bar	0,19 bar	0,19 bar

Tabulka 10. – výsledky pro nastavení – 2 bar sepnuto/0,2 bar rozepnuto

I.D.	ON 2 bar		OFF 0,2 bar	
	Mikrospínač 1	Mikrospínač 2	Mikrospínač 1	Mikrospínač 2
1	2,05 bar	2,05 bar	0,18 bar	0,18 bar
2	2,01 bar	2,01 bar	0,17 bar	0,17 bar
3	2,08 bar	2,08 bar	0,20 bar	0,20 bar
4	1,95 bar	1,95 bar	0,18 bar	0,18 bar
5	1,98 bar	1,98 bar	0,21 bar	0,21 bar
Průměr	2,01 bar	2,01 bar	0,19 bar	0,19 bar

Str. 50	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3. ZÁVĚR





Vývoj tlakového spínače je jedním z běžících projektů oddělení konstrukce a jde o zákaznické řešení pro jednoho z předních výrobců kolejových vozidel. Navržený spínač bude sloužit pro sledování tlaku v pneumatickém obvodu ovládajícím brzdy. Rešeršní část práce obsahuje popis současné nabídky tlakových spínačů na trhu a výsledky testování vybraných spínačů v laboratorních podmínkách. Druhá část práce se zabývá návrhem samotného spínače, detailněji jsou popsány 3 hlavní části: přenos tlaku, nastavitelnost hystereze a synchronizace mikrospínačů. Kompletní výsledky testování jsou uvedeny v příloze spolu s výkresovou dokumentací navrženého prototypu.

Testování prototypu potvrdilo funkčnost navržených mechanismů, bylo dosaženo požadované nastavitelnosti hystereze, synchronizace mikrospínačů a opakovatelnosti. Návrh je použitelný pro další vývoj tlakového spínače za podmínky modifikace synchronizačního mechanismu. Jeho způsob fixace na tělo spínače je potřeba upravit tak, aby se odstranilo tření v jeho otočných bodech. Toto tření by zvyšovalo rozptyl spínacího bodu za extrémních teplot. Jelikož není nutné mechanismus natáčet o velký úhel, je možnou cestou odstranění kolíků a zapření mechanismu o nově vytvořené kouty v těle spínače.

Výsledky práce byly prezentovány vedení firmy, které rozhodlo v projektu pokračovat.


4. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

p	tlak	[Pa]
F	síla	[N]
S	plocha	[m ²]
ρ	hustota	[kg/m ³]
g	gravitační zrychlení	[m/s ²]
SI	soustava jednotek	
bar	jednotka tlaku p; 1 bar = 100000 Pa	
k	tuhost pružiny	[N/m]
x	délka	[m]
EPDM	označení pro syntetické těsnění	
VMQ	označení pro silikonové těsnění	
NBR	označení pro nitrilové těsnění	
P.T.	„pretravel“; vzdálenost od volné polohy tlačítka po polohu jeho aktivace	
H	„hystereze“; rozdíl mezi bodem sepnutím a bodem rozepnutí mikrospínače	
O.T.	„overtravel“; vzdálenost od aktivace tlačítka po jeho koncovou polohu	
r	poloměr podložky	[m]
d	průměr hliníkové podložky	[m]
L	délka	[m]

Str. 52	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky		
	DIPLOMOVÁ PRÁCE		

5. SEZNAM PŘÍLOH

SPCZ90004573	výkres obrobeneho těla spínače
SPCZ90004574	výkres páky
SPCZ90004575	výkres membrány
SPCZ90004576	výkres přítlačného disku membrány
SPCZ90004577	výkres přítlačného disku membrány
SPCZ90004578	výkres podsestavy páky
SPCZ90004579	výkres pružiny
SPCZ90004580	výkres podložky pružiny
SPCZ90004583	výkres podložky pružiny
SPCZ90004585	výkres nastavovacího šroubu
SPCZ90004586	výkres pinů
SPCZ90004587	výkres pinů
SPCZ90004588	výkres pružiny
SPCZ90004589	výkres podložky pružiny
SPCZ90004590	výkres podložky pružiny
SPCZ90004591	výkres podložky pružiny
SPCZ90004593	výkres kola
SPCZ90004594	výkres podložky
SPCZ90004595	výkres sestavy tlakového spínače
SPCZ90004858	výkres páky
SPCZ90004864	výkres spínací páky mikrospínačů
SPCZ90004893	výkres držák pinu
SPCZ90005466	výkres čepu
SPCZ90005467	výkres kolíku
06806430000000000000	výkres mikrospínače
Záznamy výsledků měření	
Specifikace pro zařízení na kontrolu tlaku	

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 53
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6. POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KADLEC, Karel. Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití (část 1). *Automa*. 2007, 7(2): 4.
- [2] SMC Training. Stlačený vzduch a jeho využití
- [3] *18D-LT Electro-mechanical pneumatic pressure switches*, IMI NORGREN, en. 5.11.005.01
- [4] Kiowa Ltd. - PEV-1/4-B-OD Festo Pressure switch - | Kiowa Ltd | Industrial Components Online Store. *Kiowa Ltd*. [online]. 2013 [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.kiowa.co.uk/665-P00016801/PEV-1/4-B-OD-Festo-Pressure-switch>
- [5] *Tlakové spínače PEV, mechanické*, FESTO, 2006/10 – výrobky 2007
- [6] *PRESSURE MONITORING*, SUCO TECHNOLOGIES INC. 1.12/Edition No. 6
- [7] *20 D Electro-mechanical allfluid pressure switches*, IMI NORGREN, en. 5.11.221
- [8] *Specifikace pro zařízení na kontrolu tlaku*, KNORR-BREMSE, GD13735, Rev. B
- [9] *AV (FS/FS-T) SWITCHES*, KATALOGOVÝ LIST PANASONIC