



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

BEZPEČNOSTNÍ VENTIL PRO LISY

SAFETY VALVE FOR PRESSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Macků

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Ondřej Macků
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
Akademický rok:	2021/22

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:

Bezpečnostní ventil pro lisy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza funkce a návrh bezpečnostního ventilu pro mechanické lisy vyrobitelné v podmínkách Poličských strojíren. Analýza platné legislativy pro návrh konstrukce a schválení výrobku.

Cíle diplomové práce:

Kritická rešerše možných konstrukčních řešení.
Zdůvodněná koncepce navrženého konstrukčního řešení.
Vytvoření 3D modelu.
Funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent.
Pevnostní kontrola vybraných komponent.
Celková sestava zařízení.
Vybrané podsestavy a dílenské výkresy.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

HAJDUK Mikuláš, Zdenko BOBOVSKÝ a Rudolf JÁNOŠ. Základy pneumatických mechanismů I. Vyd. 1. TU v Košiciach, · 2013. 236 s. ISBN: 978-80-553-1605-5.

HAJDUK Mikuláš, Zdenko BOBOVSKÝ a Rudolf JÁNOŠ. Základy pneumatických mechanismů II – Pneumatické ventily. Vyd. 1. TU v Košiciach, · 2018. 150 s. ISBN: 978-80-5532-506-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem bezpečnostního pneumatického ventilu. Tento ventil je součástí systému dvouručního ovládání, který se používá u mechanických lisů. Je zde proveden funkční výpočet důležitých částí a pevnostní kontrola nejvíce namáhaných částí konstrukce. Dále je zde uveden výpočet definující unikání stlačeného vzduchu z jedné z komor ventilu. Výsledkem tohoto výpočtu je časová závislost tlaku v komoře. Součástí přílohy je částečná výkresová dokumentace, která obsahuje výrobní výkresy hlavních částí ventilu a výkres sestavy.

KLÍČOVÁ SLOVA

pneumatický prvek, ventil, bezpečnostní prvek, dvouruční ovládání

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of the safety pneumatic valve. This valve is a part of the two-handed control system device which is used with mechanical press. Operational calculation of important parts and strength control of the most stressed construction part is done in this paper. Further the calculation defining leaking of compressed air from one of the chamber of valve is presented. The result of this calculation is the time dependence of the chamber pressure. Partial drawing documentation which contains production drawings of the main parts of valve and the drawing of the assembly is a part of the appendix.

KEYWORDS

pneumatic part, valve, safety feature, two hand control device



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACKŮ, O. *Bezpečnostní ventil pro lisy*. Brno, 2022. Závěrečná práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Miroslav Škopán. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/200630>

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Ondřej Macků

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, Csc. Dále chci velice poděkovat mé rodině za pochopení a za podporu, kterou mi věnovali během celého mého studia.

1 OBSAH

Úvod.....	11
1 Lisy.....	12
1.1 Mechanické lisy.....	12
1.2 Hydraulické lisy.....	13
2 Bezpečnostní prvky	13
2.1 Optická závora.....	13
2.2 Kryty.....	13
3 Dvouruční ovládací zařízení.....	14
3.1 Funkce THCD.....	15
3.1.1 Použití obou rukou (současné ovládání)	15
3.1.2 Vztah mezi ručním spouštěním a výstupním signálem (signály).....	15
3.1.3 Přerušování výstupního signálu	15
3.1.4 Zabránění náhodnému provozu	15
3.1.5 Zabránění vyřazení	15
3.1.6 Opětovná iniciace vstupního signálu.....	16
3.1.7 Synchronní ovládání.....	16
3.2 Realizace THCD	17
3.2.1 Vstupní bezpečnostní ventily	19
3.2.2 Filtry pro odstranění vody ze stlačeného vzduchu (odlučovače vody)	19
3.2.3 Výpustné kohouty	20
3.2.4 Regulátory tlaku	20
3.2.5 Manometry	21
3.2.6 Pojistné ventily	21
3.2.7 Vzdušníky.....	22
3.2.8 Tlakové snímače.....	22
3.2.9 Zpětné ventily	23
3.2.10 Tlumiče hluku	23
3.2.11 Hlásiče poruchy.....	24
3.2.12 Rotační přívod vzduchu	24
3.2.13 Rychloodvětrávací ventily.....	24
3.2.14 Maznice	24
4 Pneumatické mechanismy	25
4.1 Pravidla pro konstrukci.....	25
4.2 Připojení armatur k pneumatickému okruhu	25
4.3 Typy armatur	25
4.3.1 Kohouty	26
4.3.2 Ventily	26
4.3.3 Šoupátka	26
4.3.4 Kulové kohouty	27

5	Požadavky na bezpečnostní ventily.....	28
6	Provedení bezpečnostního ventilu.....	29
7	Konkrétní příklad konstrukčního provedení.....	31
8	Konkrétní princip funkce	33
9	Provedení navrhnutého ventilu	35
9.1	Použitelné výrobní technologie a materiály	35
9.2	Spodní díl.....	36
9.3	Horní díl.....	37
9.4	Víka	38
9.5	Vložky	38
9.6	Písty	39
9.7	Ostatní vyráběné díly	40
9.8	Nakupované díly	41
9.8.1	Elektrické ventily	41
9.8.2	O kroužky	42
9.8.3	Plochá gumová těsnění	42
9.8.4	Pístová těsnění	43
9.8.5	Plochá plastová těsnění	43
9.8.6	Zátky.....	43
9.8.7	Šrouby	44
10	Montáž navrhnutého ventilu	45
11	Výpočty navrhnutého ventilu	47
11.1	Výpočet tuhosti pružiny	47
11.2	Výpočet síly vyvozené pružinou.....	48
11.3	Síla od tlaku na vstupu ventilu.....	48
11.4	Síla od řídicího tlaku	49
11.5	Silová bilance na pístu	49
11.6	Určení vlastností stlačeného vzduchu	50
11.7	Výpočet výtokové rychlosti	52
11.8	Výpočet hmotnostního průtoku.....	54
11.9	Určení tlakové bilance v komoře 7	55
11.10	Výpočet šroubových spojů.....	57
12	Závěr.....	59
	Použité informační zdroje	60
	Seznam použitých zkratk a symbolů	63
	Seznam příloh	65

ÚVOD

Lisy obecně patří k nejstarším strojním zařízením vůbec. Již ve starověku lidé budovali primitivní mechanické lisy na víno. Tyto lisy byly většinou dřevěné a opravdu jednoduché. Síla v nich byla vyvozována axiálním pohybem šroubu. Stejně jako celé lidstvo se i lisy a technika okolo nich vyvíjela. Dalším velkým krokem byl vynález knihtisku, při kterém se využívaly stále vcelku primitivní šroubové lisy, avšak hlavním materiálem se staly slitiny železa. To umožnilo přenášení větší pracovní síly. S nástupem elektrické energie začaly vznikat elektrické klikové mechanické lisy, které byly poháněny elektromotorem. U těchto lisů bylo možné při použití vhodného převodu vyvodit mnohonásobně větší sílu než u ručních šroubových lisů. Jelikož se zde k vyvození síly používá elektromotor, lze také podstatně zvýšit rychlost práce. Tento typ lisů se používá v téměř stejné podobě dodnes. [1][2]

Jak se však zvyšovala působící síla či rychlost práce lisu, rostly také následky případných nehod. Jelikož i dnes je velké množství takovýchto lisů stále přímo ovládaných člověkem, může být následkem nehody zranění či dokonce usmrcení obsluhy. Důsledkem každé takové nehody vzniká provozovateli značná finanční ztráta způsobená náklady spojenými se zraněním a následnou rehabilitací. Proto je dnes snaha co nejvíce zvýšit bezpečnost práce s těmito zařízeními. Samozřejmě se stávají pravidelná školení jak obsluhy, tak všech pracovníků, kteří mohou přijít do styku se strojem. Důležitou roli dnes však hrají především různé bezpečnostní systémy. [2]

Mezi ně patří právě systém dvouručního ovládní. Nejčastější zranění, která se při práci na mechanickém lisu stávají, jsou zranění horních končetin způsobené nepozorností. Práce obsluhy se totiž stále cyklicky opakuje a jelikož spočívá pouze ve výměně polotovarů a zapínání stroje, snadno se může stát, že při těchto úkonech nechá obsluha část ruky v pracovní části stroje. Tato část je následně deformována. Systémy dvouručního ovládní se tomuto snaží zamezit tím, že pro spuštění stroje potřebuje obsluha obě ruce. Toho je docíleno použitím dvou tlačítek v dostatečné vzdálenosti od sebe. Pro spuštění stroje musí být stisknuta obě tato tlačítka. [3]

Existuje několik typů těchto systémů, které se liší dle funkcí a také složitostí. Pro mechanické lisy se používají ty nejpokročilejší. V nich jsou signály z tlačítek zpracovány a vyhodnoceny hned dvěma způsoby. První zpracování se provede přímo v řídicí jednotce stroje. Druhou logickou jednotkou je logický bezpečnostní ventil. Do něho jsou přivedeny dva signály z tlačítek, z nichž každý vede do jednoho elektricky ovládaného ventilu, kde otevře jednu z cest. [3] [9]

1 LISY

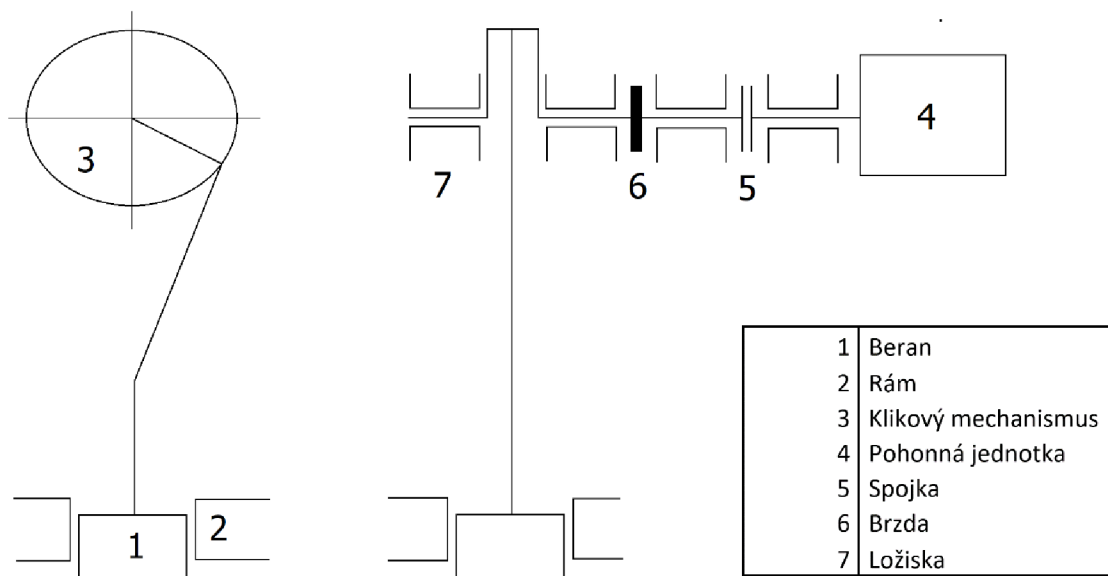
Lisy jsou tvářecí stroje, které mají pomalý a pozvolný pohyb (na rozdíl od bucharů). Dělí se na lisy lehké, které mají jmenovitou sílu do 500 kN a lisy těžké, které mají jmenovitou sílu nad 5000 kN. Používají se v širokém spektru odvětví od automobilního po hutnický. S tím souvisí i velké množství vykonávaných technologických operací, jako například stříhání, ohýbání a protlačování pro lehké lisy a kovářské práce pro lisy těžké. [2]

Dalším důležitým dělením je dělení dle typu pohonného mechanismu

1.1 MECHANICKÉ LISY

Mechanické lisy patří v dnešní době mezi nejpoužívanější skupinu lisů. Jde o tvářecí stroje s relativně jednoduchým mechanickým pohonem, využívající základní mechanické principy. Základní provedení je realizováno pomocí klikového mechanismu. Jejich největší nevýhodou je, že nejvyšší tvářecí síly, které mohou dosáhnout, je dosaženo až těsně u dolní úvratí. [3]

Schéma mechanického lisu můžeme vidět na obrázku 1. Lis se skládá z beranu, lisovacího nástroje a klikového mechanismu. Ten je poháněn elektromotorem a uložen v ložiskách. Důležitými prvky jsou také brzda a spojka. Ve chvíli, kdy má dojít ke spuštění lisu, dojde k odbrzdění brzdy, následované (s malým zpožděním) sepnutím spojky a poté translačním pohybem beranu. V případě bezpečnostního rizika dojde k rozpojení spojky, sepnutí brzdy a okamžitému zastavení pohybu beranu. [8] [9]



Obrázek 1. Schéma mechanického lisu

1.2 HYDRAULICKÉ LISY

Hydraulické lisy jsou první stroje, u kterých byl použit hydraulický pohon. Jeho funkce je založena na Pascalově zákoně, tj. rovnoměrném šíření kapaliny všemi směry. Jejich hlavní výhodou v porovnání s lisy mechanickými je, že je možno dosáhnout mnohem větší síly, a to až 10000 MN. Hlavní nevýhodou je však složitější konstrukce a údržba. Oproti lisům mechanickým mají také vyšší pořizovací cenu, a to cca o 30%. Nejčastější konstrukce se sestává z hydrogenerátoru, který je poháněn elektromotorem. Díky tomu se nám v hlavním hydraulickém okruhu zvedá tlak, který jsme následně schopni pustit pod píst a tím uvést beran do pohybu. [13] [14]

2 BEZPEČNOSTNÍ PRVKY

Jelikož všechny typy lisů pracují s velmi nebezpečnými (v případě kolize s člověkem až smrtícími) silami, je nutné je opatřit množstvím bezpečnostních prvků. Jako u všech ostatních strojů, i v případě lisů je pro jejich správnou volbu zapotřebí správně posoudit rizika. V tomto posouzení musíme uvažovat všechny okolnosti, které mohou nastat (přetížení, vložení špatného polotovaru, vstup cizí osoby atd). V dalším kroku návrhu stroje se navrhnou různé možnosti zabezpečení a poté se posuzuje jejich účinnost, cena atd. To jsou faktory, na jejichž základě se tyto bezpečnostní prvky volí. [6] [5]

2.1 OPTICKÁ ZÁVORA

Optické závory jsou jedním z nejpoužívanějších bezpečnostních prvků vůbec. Jedná se o dva elektronické obvody. V prvním obvodu je umístěn foto tranzistor, který je napájen zdrojem a vysílá světelný signál na fotodiodu umístěnou v obvodu druhém. Ve chvíli, když se světelný signál přeruší, přestane fotodioda propouštět proud, což vyhodnotí řídicí systém stroje a stroj ihned zastaví.

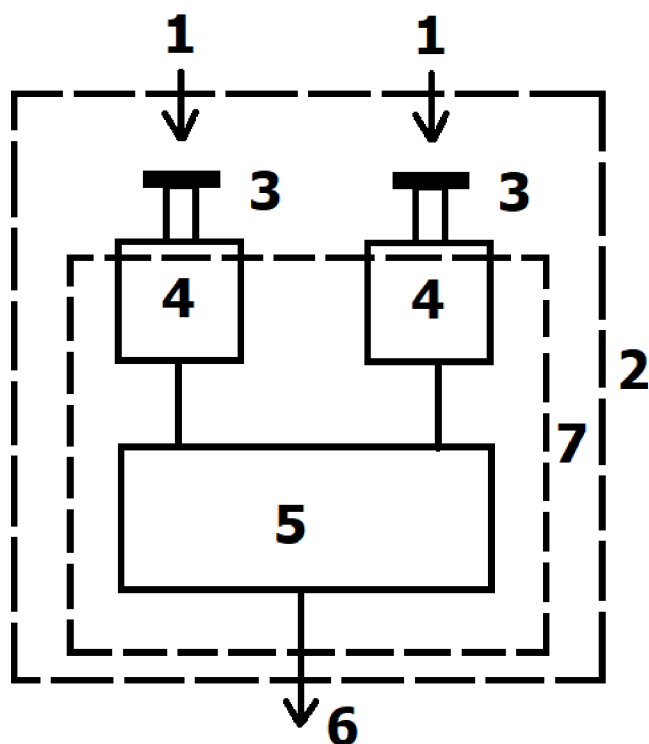
Světelný signál vysílaný fototranzistorem nemusí být ze spektra viditelného světla. Optická závora se proto také používá jako zabezpečovací prvek například v bankách. Setkáme se s ní také u nejrůznějších snímačů polohy atd. [15]

2.2 KRYTY

Nejjednodušším a většinou také nejlevnějším bezpečnostním prvkem je zakrytování nebezpečného prostoru, a tím pádem přímé zamezení kontaktu s ním. Na rozdíl od optické závory se však do nebezpečného prostoru po instalaci krytu už nelze dostat. V praxi se tedy musí nechat určité přístupové body nezakrytované a v nebezpečných místech instalovat jiné bezpečnostní prvky. [8] [9]

3 DVOURUČNÍ OVLÁDACÍ ZAŘÍZENÍ

Dvouruční ovládací zařízení (THCD) je jedním z typů ochranných zařízení. Poskytuje ochranu obsluhy před neúmyslným vložením ruky (či rukou) do nebezpečných zón během nebezpečných situací, a to nutností použití obou rukou při spuštění stroje. Toho je dosaženo umístěním ovládacích spouštěcích zařízení do specifické polohy a vzdálenosti od nebezpečné zóny (zón). Je použito v případě, kdy je od obsluhy vyžadován přístup do nebezpečného prostoru stroje. Toto ochranné zařízení poskytuje ochranu pouze jednomu člověku, který daný stroj obsluhuje. Schéma dvouručního ovládání je na obrázku 2. [3]



1	Spouštění rukama
2	THCD
3	Ovládací spouštěcí zařízení (ovladače)
4	Měnič (měniče) signálu
5	Procesor (procesory) signálu
6	Výstupní signál (signály)
7	Logická jednotka

Obrázek 2. Schéma dvouručního ovládání

3.1 FUNKCE THCD

THCD se dělí dle funkcí na několik typů. To vidíme v tabulce 1. Výběr správného typu závisí na přítomnosti nebezpečí, posouzení rizika, zkušenostech v použití technologie a pak také dalších faktorech. Každý z těchto typů musí splňovat dané požadavky, které jsou pro něj dány v souladu s tabulkou 1. Tyto požadavky musí daný typ splňovat za všech podmínek prostředí stanovených výrobcem. Cílem je zajistit, aby se žádná část těla obsluhy stroje nedostala do nebezpečné zóny stroje. [3] [4]

Požadavky	Typ				
	1	2	3		
			A	B	C
Použití obou rukou (současné spuštění)	x	x	x	x	x
Vztah mezi vstupními signály a výstupním signálem	x	x	x	x	x
Přerušování výstupního signálu	x	x	x	x	x
Zabránění náhodnému provozu	x	x	x	x	x
Zabránění vyřazení	x	x	x	x	x
Opětovná iniciace výstupního signálu		x	x	x	x
Synchronní ovládání			x	x	x
Alespoň PL c (podle ISO 13849-1) nebo SIL 1 (podle IEC 62061)	x		x		
Alespoň PL d s kategorií 3 (podle ISO 13849-1) nebo SIL 2 s HFT=1 (podle IEC 62061)		x		x	
Alespoň PL e s kategorií 4 (podle ISO 13849-1) nebo SIL 3 s HFT=1 (podle IEC 62061)					x

Tabulka 1. Požadavky na dvouruční ovládání [3]

3.1.1 POUŽITÍ OBOU RUKOU (SOUČASNÉ OVLÁDÁNÍ)

Tento požadavek znamená, že k provozu stroje musí obsluha používat obě ruce současně, jednu ruku na každém ovládacím spouštěcím zařízení. Tento požadavek však není závislý na časovém zpoždění mezi oběma signály (viz. Synchronní ovládání).

3.1.2 VZTAH MEZI RUČNÍM SPOUŠTĚNÍM A VÝSTUPNÍM SIGNÁLEM (SIGNÁLY)

V případě, že obsluha stroje použije oba ovládací prvky THCD, musí být iniciován a zároveň udržen signál do té doby, než obsluha tyto prvky uvolní.

3.1.3 PŘERUŠENÍ VÝSTUPNÍHO SIGNÁLU

V případě, že obsluha uvolní jeden, popřípadě oba ovládací prvky, musí dojít k přerušování výstupního signálu.

3.1.4 ZABRÁNĚNÍ NÁHODNÉMU PROVOZU

Zabránění náhodnému provozu znamená, že musí být minimalizována šance na to, že by šly ovládací prvky THCD stisknout jinak než oběma rukama, např. použitím loktu, nohou atd. [3]

3.1.5 ZABRÁNĚNÍ VYŘAZENÍ

Ochranný účinek THCD nesmí být snadno vyřazen.

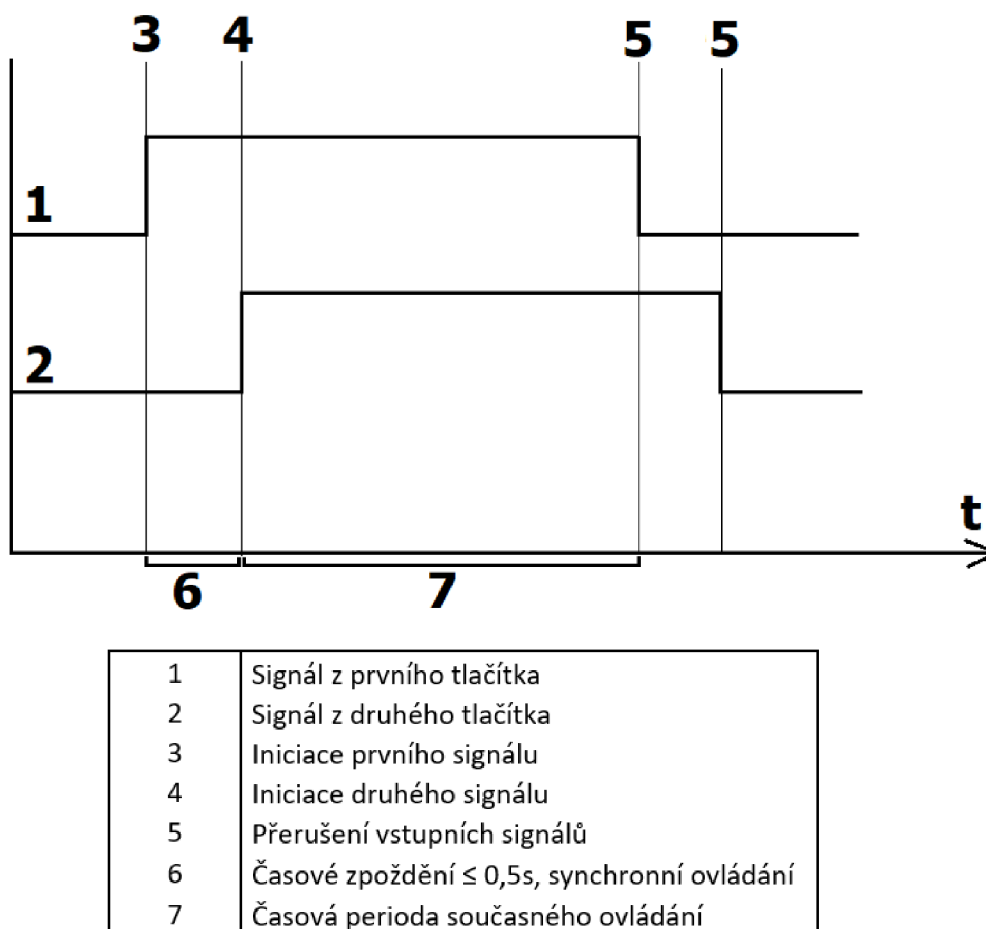
3.1.6 OPĚTOVNÁ INICIACE VSTUPNÍHO SIGNÁLU

Ve chvíli, kdy je výstupní signál aktivní a obsluha stroje uvolní jeden z ovládacích prvků THCD, tak není možné iniciovat další signál do té doby, dokud neuvolní i druhý ovládací prvek THCD.

3.1.7 SYNCHRONNÍ OVLÁDÁNÍ

Synchronní ovládání znamená, že pro inicializaci výstupního signálu musí být zpoždění mezi spuštěním prvního a druhého ovládacího prvku THCD menší než 0,5 sekund (viz obr. 3). [3]

Splnění těchto požadavků se ověřuje a validuje dle tabulky 1. THCD musí být validován v souladu s ISO 13849-2 nebo IEC 62061. [3] [11]



Obrázek 3. Časový průběh signálů pro synchronní ovládání

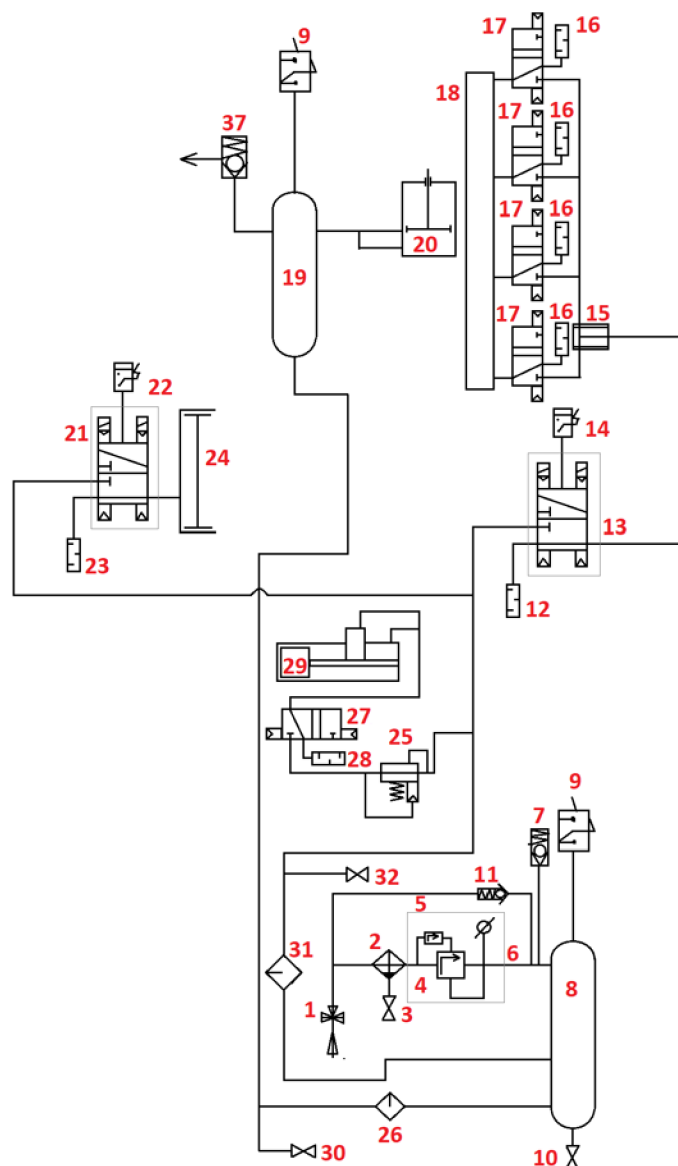
3.2 REALIZACE THCD

Základem THCD jsou ve většině případů dvě spínací tlačítka umístěná v dostatečné vzdálenosti od sebe. Mezi tlačítka lze ještě umístit různé typy zábran, aby nemohlo dojít ke zmáčknutí jinak, než za použití obou rukou. Elektrický signál z tlačítek po zmáčknutí putuje do procesoru, kde je vyhodnoceno, zda bylo dodrženo obouruční ovládání či nikoliv. Zároveň však putuje do speciálního bezpečnostního ventilu, kde každý signál otevře jeden elektrický ventil a způsobí tím změnu průtoku vzduchu bezpečnostním ventilem. V případě, že buď procesor nebo ventil přijme informace, že nejsou splněny podmínky pro spuštění, tak se stroj nespustí. Konstrukce tohoto ventilu je tématem této práce.

Celé schéma pneumatického obvodu lisu je složitější a je ukázáno na obrázku 4.

Je v něm použito dvou bezpečnostních ventilů, z nichž jeden ovládá mechanickou spojku a druhý mechanickou brzdu lisu. Toto schéma ukazuje i to, jak je upraven stlačený vzduch před tím, než vstoupí do bezpečnostního ventilu. Jsou zde totiž legislativou dané komponenty, které musí tento obvod obsahovat. Mezi ně patří právě filtry, regulátory tlaku a zařízení pro odpojení při nízkém tlaku. Zároveň musí být v obvodu přítomna zařízení, která zajišťují dodržení pracovního tlaku v povoleném rozsahu.

Zároveň také ukazuje velké množství použitých bezpečnostních prvků, jako např. pojistných ventilů, hlásičů poruchy atd. [3]



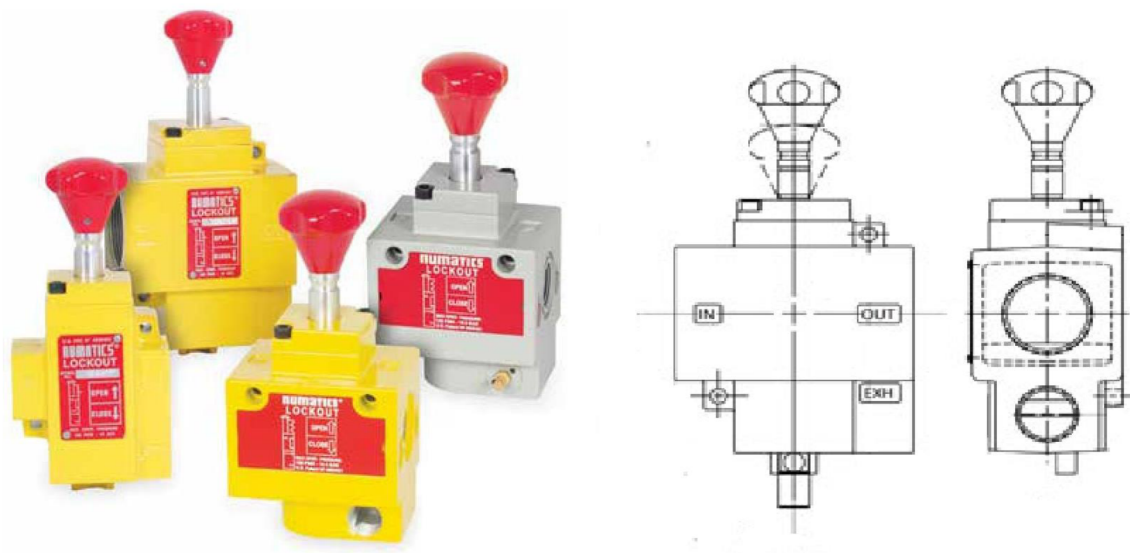
1	Vstupní bezpečnostní ventil
2	tlakový filtr
3	Výpustný kohout
4	Regulátor tlaku
5	Regulátor tlaku s nastavitelným rozsahem
6	Manometr
7	Pojistný ventil
8	Vzdušník
9	Tlakový snímač
10	Výpustný kohout
11	Zpětný ventil
12	Tlumič hluku
13	Bezpečnostní ventil
14	Hlásič poruchy
15	Rotační přívod vzduchu
16	Tlumič Hluku
17	Rychloodvětrávací ventil

18	Spojka
19	Vzdušník
20	Pneumatický válec vyvažování beranu
21	Bezpečnostní ventil
22	Hlásič poruchy
23	Tlumič hluku
24	Brzda
25	Regulátor tlaku
26	Maznice
27	Ventil elektricky ovládaný
28	Tlumič hluku
29	Horní válec vyhazovače
30	Výpustný kohout
31	Maznice
32	výpustný kohout
33	Pojistný ventil

Obrázek 4. Pneumatické schéma ovládání lisu

3.2.1 VSTUPNÍ BEZPEČNOSTNÍ VENTILY

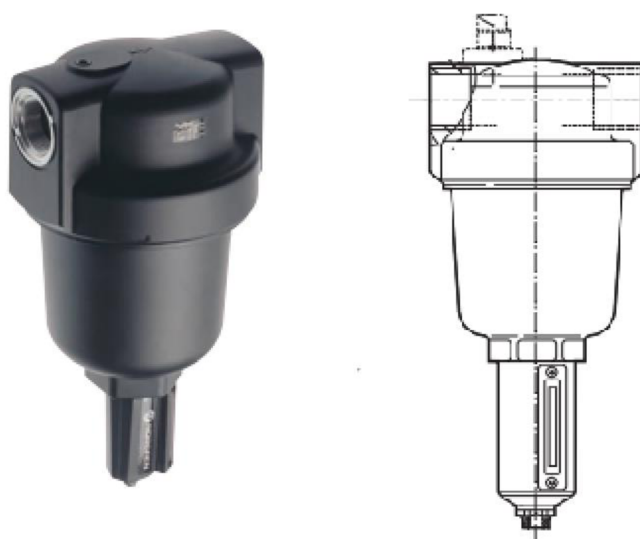
Jedná se o standardní řadové plno-průtokové ruční uzavírací ventily s rychlým výfukem. Prochází přes ně stlačený vzduch od kompresoru do zbytku obvodu. Většinou bývají vybaveny tlačítkem, které po zmáčknutí ihned přeruší proud vzduchu do systému. Musejí mít zároveň dostatečně robustní a těžkou konstrukci, neboť přes ně prochází velký objemový tok vzduchu. Příklady těchto ventilů jsou na obrázku 5. [16]



Obrázek 5. Vstupní bezpečnostní ventily [16]

3.2.2 FILTRY PRO ODSTRANĚNÍ VODY ZE STLAČENÉHO VZDUCHU (ODLUČOVAČE VODY)

Jelikož je voda ve stlačeném vzduchu nežádoucí, je zapotřebí ji z něj odstranit. K tomu slouží tyto filtry. Je vhodné zvolit takový filtr, který má co nejvyšší účinnost odstraňování vody a také co nejnižší tlakové ztráty. Příklad tohoto typu filtru i s jeho schématem je na obrázku 6. [17]



Obrázek 6. Filtry pro odstranění vody ze stlačeného vzduchu [17]

3.2.3 VÝPUSTNÉ KOHOUTY

Výpustných kohoutů je v pneumatickém obvodu hned několik a slouží pro odvod vzduchu či vody ven z obvodu. Jedná se většinou o jednoduché kulové kohouty, které jsou ovládány manuálně. Výpustný kohout je na obrázku 7. [18]



Obrázek 7. Výpustné kohouty [18]

3.2.4 REGULÁTORY TLAKU

Jelikož většina používaných kompresorů pracuje pulsovitě, je zapotřebí tlak vzduchu, který je do obvodu dodáván, regulovat na stálou hodnotu. Pulsy by totiž mohly některé části obvodu poškodit a je tedy nutné obvod vybavit tímto regulátorem. V tomto obvodu jsou dva regulátory zapojeny řadově za sebou, z nichž jeden je opatřen automatickým odlehčením. Příklady regulátorů tlaku jsou na obrázku 8. [19]



Obrázek 8. Regulátory tlaku [19]

3.2.5 MANOMETRY

Jedná se o klasický měřič tlaku. V obvodě slouží jako informační a kontrolní měřidlo, které přímo ukazuje tlak. Není však možné hodnotu tlaku dále zpracovávat a například ukládat. K tomu slouží tlakové snímače. Příklad manometru je na obrázku 9. [20]



Obrázek 9. Manometr [20]

3.2.6 POJISTNÉ VENTILY

Pojistné ventily chrání ostatní komponenty před příliš vysokým tlakem, který může vzniknout při poruše v jiné části obvodu. Většinou mají jednoduchou konstrukci založenou na tom, že v případě dosažení určitého tlaku vzduchu dojde k přetlačení pružiny, a tím zpřístupnění výpusti. Typický příklad pojistného ventilu je na obrázku 10. [21]



Obrázek 10. Pojistné ventily [21]

3.2.7 VZDUŠNÍKY

Vzdušník je tlaková nádoba, sloužící ke skladování stlačeného vzduchu. Kompresor je tedy možné a vhodné po natlakování vypnout, čímž dojde k úspoře elektrické energie, a tedy také výdajů za ni. Zároveň je také stlačený vzduch vždy k dispozici, a v případě potřeby není třeba čekat na jeho natlakování. V případě, že by v tomto obvodu měly být použity vzdušníky ze skla nebo plastů, musejí se dle legislativy opatřit ochrannými kryty proti odlétajícím plastovým nebo skelným úlomkům. Vzdušník je na obrázku 11. [22]



Obrázek 11. Vzdušník [22]

3.2.8 TLAKOVÉ SNÍMAČE

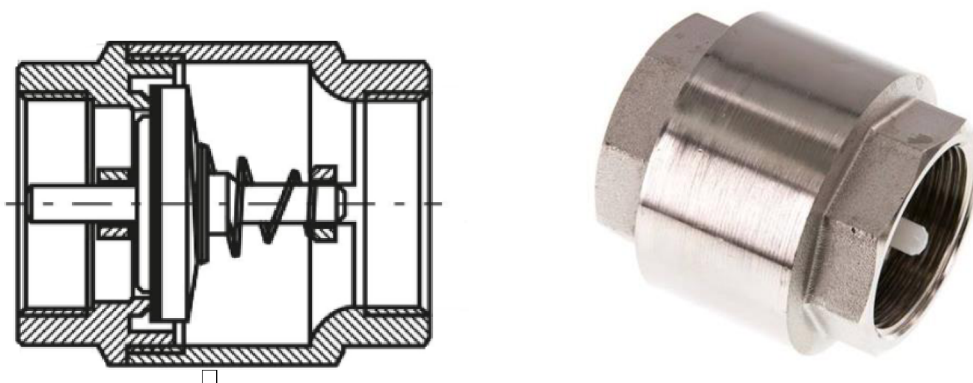
Jedná se o další typ měřičů tlaku. Na rozdíl od manometrů však přímo neukazují aktuální hodnotu tlaku v systému, avšak vysílají elektrický signál, který je následně zpracován v řídicí jednotce, popřípadě v počítači. Tlakové snímače jsou na obrázku 12. [23]



Obrázek 12. Tlakové snímače [23]

3.2.9 ZPĚTNÉ VENTILY

Jedná se o typ ventilu, který propouští danou tekutinu pouze v jednom směru. V tomto obvodu slouží k přepouštění nadbytečného tlaku zpátky před regulátor tlaku. Jejich konstrukce bývá opět velmi jednoduchá. Skládá se z tělesa ventilu, sedla a přitlačovací pružiny. V případě, že bude větší tlak působit v nepropustném směru, dojde jeho působením k utěsnění sedla a stlačený vzduch ventilem neprojde. V opačném případě se naopak sedlo uvolní a tím umožní průchod stlačeného vzduchu ventilem. Ve chvíli, kdy dojde k tlakové rovnováze tak pružina zajistí vrácení sedla do zavřeného stavu. Odporu pružiny definujeme minimální tlakovou diferencí, která musí mezi stranami ventilu být, aby došlo k jeho otevření. Zpětný ventil je na obrázku 13. [24]



Obrázek 13. Zpětný ventil [24]

3.2.10 TLUMIČE HLUKU

U všech výpustí z obvodu, ve kterých se předpokládá pravidelné upouštění stlačeného vzduchu, se zpravidla instalují tlumiče hluku. Při tomto upouštění dochází totiž k prudkému vyrovnávání přetlaku, který se nachází v pneumatickém obvodu s atmosférickým tlakem, který je v okolí. To doprovází výrazná akustická emise, která může poškodit lidský sluch a celkově snižovat pracovní úroveň a pohodu obsluhy.

Konstrukce těchto tlumičů je různá, ale zpravidla fungují na principu zpomalení expanze vycházejícího plynu. Ten se například může vpouštět postupně do několika komor s rostoucím objemem. Další možností je umístit do těchto komor pružné prvky, které v případě přetlaku umožní zvětšení objemu komory. [25]

3.2.11 HLÁSIČE PORUCHY

Bezpečnostní ventily v těchto obvodech bývají vybaveny hlásiči poruchy. V případě poruchy ventilu, která by zabraňovala jeho správné funkci, vyšlou tyto hlásiče elektrický signál do řídicí jednotky stroje. I tyto ventily totiž podléhají opotřebení a v případě jejich vyřazení z provozu by se jednalo o bezpečnostní riziko a je zapotřebí ihned zjistit, že je daný ventil nefunkční a stroj zastavit do té doby, než bude opraven či vyměněn. Je to tedy jedna z bezpečnostních funkcí, která zajišťuje bezpečný chod celého stroje.

Konstrukčně se jedná o tlakové snímače, které jsou umístěné v jednotlivých komorách a monitorují správný průběh tlaku v celém ventilu. [26]

3.2.12 ROTAČNÍ PŘÍVOD VZDUCHU

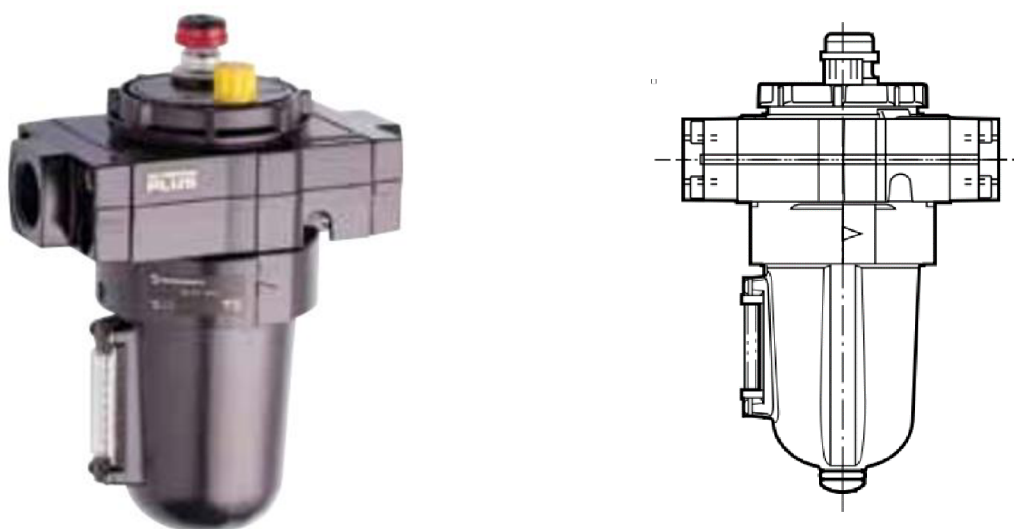
Jedná se o vcelku jednoduchý rozdělovač, který rozdělí přivedený vzduch rovnoměrně mezi všechna připojená zařízení.

3.2.13 RYCHLODVĚTRÁVACÍ VENTILY

Tyto ventily jsou umístěny u části obvodu, která aktivuje spojku. Ve chvíli, kdy bezpečnostní ventil vyhodnotí bezpečnostní riziko a přestane propouštět stlačený vzduch, okamžitě odpustí všechen jeho zbytek, co zůstal v části za bezpečnostním ventilem, spojka se rozpne a celý stroj se tím pádem zastaví.

3.2.14 MAZNICE

Stlačený vzduch sebou strhává mazivo ze všech komponentů jimiž prochází a následně se z něj usazuje v jiných částech obvodu. Některé komponenty tak mohou přijít o potřebnou vrstvu mazacího oleje. Proto je zapotřebí samotný vzduch mísit s olejovou mlhou, díky čemuž se olej dostane všude, kde je ho zapotřebí. Nutnost použít maznice je opět dána legislativou. Příklad maznice je na obrázku 14. [27]



Obrázek 14. Maznice [27]

4 PNEUMATICKÉ MECHANISMY

Prvky pneumatických mechanismů vždy přitahovaly pozornost svými výjimečnými vlastnostmi, a to především konstrukční, a tím i technologickou jednoduchostí, jejímž důsledkem je vysoká provozní spolehlivost a nenáročnost na údržbu. Další výhodou pneumatických mechanismů je rovněž jednoduchá realizace přímočarých pohybů, a to i s velkými pohybovými rychlostmi a možnost přetížit motor až do zastavení, aniž by byl poškozen. Významnou předností v mnoha aplikacích je i jednoduchost rozvodu pracovního média bez nutnosti vracet jej z motoru do zásobníku a dále možnost provozu v prostředích s nebezpečím vznícení nebo výbuchu. Mezi nevýhody patří problémy s nastavováním menších rychlostí pohybu s vyššími nároky na rovnoměrnost pohybu, omezené možnosti nastavování polohy zastavení motoru, dosti nízká úroveň výkonu a vysoká cena energie stlačeného vzduchu. [28]

4.1 PRAVIDLA PRO KONSTRUKCI

Při konstrukci pneumatických prvků je zapotřebí brát ohledy na všechny předpokládané činnosti a používání daných systémů. Daný systém také nesmí být nebezpečný ani v případě očekávaného nesprávného použití. Veškerá rizika musí být eliminována například konstrukcí, popřípadě, není-li to možné, musí být začleněna bezpečnostní ochranná zařízení či výstrahy proti takovým rizikům. [28] [29]

4.2 PŘIPOJENÍ ARMATUR K PNEUMATICKÉMU OKRUHU

Připojení armatur ke zbytku pneumatického či hydraulického okruhu se musí volit s ohledem hlavně na teplotu, tlak a druh pracovní látky. Nejjednodušším způsobem jsou jednoduché příruby umístěné jak na koncích potrubí, tak na vstupu i výstupu z armatury. Toto připojení může být těsněno konopím, či dnes už častěji technickou pryží nebo například teflonovou páskou. Dnes je však už používanější spojení pomocí závitu. Nejčastěji se setkáme se závitem trubkovým. Na jedné přírubě bývá závit kuželový a na druhé válcový. Tento závit má stejný profil jako závit whitworthův, avšak je jemnější. Tento typ spojení je také nutné utěsnit, a to nejčastěji za pomoci speciálních lepidel, pásek či provázků. Další možností je svaření příruby s potrubím. To je možné použít v případě, že pracovní tlaky jsou tak velké, že by to těsnění v předešlých případech nevydrželo a pracovní látka by unikala nebo v případě, že potřebujeme co nejvíce zamezit únikům. [29]

4.3 TYPY ARMATUR

Armatury se dají dělit dle mnoha kategorií. Nejzákladnější dělení je dělení dle typu proudícího média, a to na armatury pneumatické, ve kterých je pracovním médiem stlačený vzduch a hydraulické, ve kterých je pracovní médium hydraulická kapalina. Hydraulické armatury jsou konstruovány pro větší pracovní tlak, a proto jsou na první pohled mohutnější než armatury pneumatické. Dalším dělením je dělení dle funkce. Nejběžněji se setkáme s armaturami uzavíracími. Jejich hlavním účelem je zamezit proudění dané látky do určité části obvodu. To se děje přímým uzavřením daného přívodního potrubí. Dle konstrukce uzavíracího mechanismu se uzavírací armatury dále dělí na kohouty, ventily, šoupátka a kulové kohouty. Správnou volbu konstrukce je nutno posoudit hlavně s ohledem na výši tlaku a teploty pracovní látky, druh pracovní látky, jednoduchost a s ní i související cena, ovladatelnost a rychlost manipulace, velikost ztrát tlaku a velikost průtoku. [29]

4.3.1 KOHOUTY

Kohout je jedním z nejjednodušších typů armatur. Je vhodné ho použít pro nízké pracovní tlaky a menší světlosti. Jako uzavírací prvek je zde použitý většinou komolý kužel. Těsnící plochy jsou většinou tvořeny přímo materiálem tělesa a kužele. Kužel má v sobě otvor kolmý na jeho osu. Otáčením kužele se otvor v něm vytvořený nastavuje do (či z) proudu a tím se otevírá (či zavírá) průchod média ventilem. Pro úplné otevření či uzavření ventilu je zapotřebí pouze otočení o 90°. Jedná se tedy o vcelku rychle uzavíratelný typ a jelikož v těle kohoutu není nutné, aby proud měnil směr, dochází k velmi nízkým tlakovým ztrátám. V situaci, kdy je z nějakého důvodu zapotřebí použít kohout i v náročnějších podmínkách, je možné umístit nad kuželové těleso víko a pevně ho spojit s tělesem kohoutu. Pro nenáročné podmínky může být toto víko vynecháno.

Výroba, včetně zabrušování kohoutů, je dosti náročná. Zároveň musí být vhodně zvolen materiál třecích částí. Jelikož je u tohoto typu armatury třecí plocha vcelku robustní, je nutné věnovat volbě materiálu těchto stykových ploch náležitou pozornost. Vhodnými materiály jsou například šedá litina, bronz či mosaz. [29]

4.3.2 VENTILY

Dalším typem uzavíracích armatur jsou uzavírací ventily. Uzavíracím prvkem je zde kužel, který se při otevírání či zavírání ventilu pohybuje axiálně, kolmo ke směru proudu, a to většinou pomocí závitů. Vzhledem k tomu, že třecí plochy jsou zde podstatně menší než u kohoutu a nedochází k tak velkému tření, snižuje se riziko zadření. Pro nižší pracovní tlaky je možné nahradit těsnící kuželovou plochu uzavíracího prvku za plochu mezikruhovou. Těmto plochám se říká sedla, a proto se pak takovému ventilu říká sedlový. Pro zabrušování jsou těsnící plochy dobře přístupné a díky tomu lze dosáhnout dobré těsnosti a zároveň přívětivé ceny. Těsnící plochy lze také většinou snadno opravit. Jelikož zde proud protékající pracovní látky mění směr, dochází k větším tlakovým ztrátám způsobeným třením kapaliny o stěny. Jelikož pro otevření či uzavření se musí uzavírací těleso pohnout v axiálním směru a jelikož je toho většinou dosaženo díky závitům, je manipulační čas značně prodloužen (např. proti kohoutům). V případě, že je však k otevření či zavření použit jiný typ mechanismu, tento problém může odpadnout. Při zavírání či otevírání jsou zároveň zapotřebí poměrně velké ovládací síly, neboť se uzavírací prvek pohybuje ve směru proudu. V případě, že nad uzavíracím tělesem ventilu není dostatek prostoru pro námi zvolený typ zavíracího mechanismu, je možné, za pomoci převodu (nejčastěji ozubenými koly), uzavírací mechanismus přesunout na vhodnější místo. Dle požadavků může vtok a výtok z ventilu svírat libovolný úhel. Existují i speciální typy ventilů, například ventil hlavicový. Ten je vhodný pro menší světlosti a použití nalezl například pro topné soustavy. Z hlediska konstrukce je v něm třmen nahrazen zašroubovanou hlavou se závitěm pro vřeteně s ucpávkou. Ventily mohou být vybaveny také takzvaným „tlakotěsným víkem“. Tlakotěsné víko způsobí to, že síla vyvozená tlakem pracovní látky působí ve smyslu zvětšení těsnící síly mezi tělesem a víkem. [29]

4.3.3 ŠOUPÁTKA

Další velkou skupinou jsou šoupátka. Ta se vyrábějí již od těch nejnižších provozních tlaků a nejmenších světlostí až po nejvyšší tlaky a největší světlosti. Jako uzavírací orgán je u šoupátek použit klín, který je při otevírání či zavírání zasouván mezi těsnící plochy tělesa příčně ke směru proudu. Těsnící plochy tělesa a klínu spolu svírají určitý úhel. V některých případech však mohou být i paralelní (například u deskových šoupátek). Těsnící plochy tělesa i klínu se po určité část pohybu po sobě posouvají, z toho důvodu musí být věnována pozornost vhodné volbě materiálu a jakosti povrchu. Při špatné volbě hrozí zadření. Jedním z problémů, který s sebou výroba šoupátek nese, jsou obtížně přístupné těsnící plochy v tělese šoupátka. Jejich

výroba či následná oprava jsou tím značně zkomplikovány. Proto se zde těsnosti dosahuje hůře než například u ventilů. Další nevýhodou oproti ventilům je podstatně delší manipulační čas. Pro úplné otevření je totiž nutné zcela uvolnit průtočnou plochu mezi sedly, a tím pádem vysunout klín o vzdálenost vnitřního průměru sedel a šířku těsnící plochy. Naproti tomu v případě ventilu stačí pro uvolnění plně průtočné plochy zvednout kuželku o 1/4 až 1/3 vnitřního průměru. Výhodou šoupátek však je, že proud kapaliny v nich vůbec či minimálně mění směr, a tudíž vzniká nižší tlaková ztráta. Klíny se dle konstrukce dělí na tři druhy. Nejjednodušší jsou tuhé klíny. Ty prakticky neumožňují změnu úhlu mezi těsnícími plochami (při zatížení uzavíracími silami). Naopak pružné klíny připouštějí mírnou změnu úhlu obou těsnících ploch, a to deformací pružné části klínu způsobenou uzavíracími silami. Dělené klíny jsou schopny přizpůsobit polohu těsnících ploch na klínu a v tělese. Některá šoupátka mohou být opatřena tzv. nestoupajícím vřetenem. To znamená, že při otevírání nedochází k axiálnímu pohybu vřetena. Toho je docíleno díky závitovému pouzdru pro závit vřetena umístěném uvnitř klínu. Při otáčení vřetena je tedy klín posouván, aniž by vřeteno s ručním kolem stoupalo. Obvykle se nazývají jako šoupátka víková. Jejich opakem jsou šoupátka třmenová. U těch dochází při jejich otevírání k axiálnímu posunu vřetena. Výhodou je, že je na první pohled patrné, zda je šoupátko otevřeno či uzavřeno. Naopak nevýhodou je, že se kvůli manipulaci musí při konstrukci celého obvodu počítat s volným místem nad šoupátkem. Některá šoupátka, především ta větších rozměrů, mohou být též vybavena tzv. čistícím víkem, což je otvor ve spodní části tělesa zakrytý zaslepovací přírubou. Velká šoupátka mohou též být vybavena elektrickým servomotorem nebo též hydraulickým pohonem. Některá vysokotlaká šoupátka se též osazují samotěsnícím víkem, stejně jako například ventily. V případě, že chceme, aby se šoupátko dalo otevírat a zavírat co nejrychleji, je možné místo manipulačního kola osadit šoupátko pákou. Takovým šoupátkům se pak říká rychlouzavírací. Používají se hlavně pro nižší tlak a menší světlosti. Je také možné vyrobít šoupátko ze šedé litiny a celou vnitřní část pogumovat. Toho se využívá v případě, že má být pracovní látka chemicky agresivní. Pro husté látky je možné použít takzvaná desková šoupátka. U nich je místo klínu použita deska s břitem, která při uzavírání stírá pevné části z těsnících ploch. [29]

4.3.4 KULOVÉ KOHOUTY

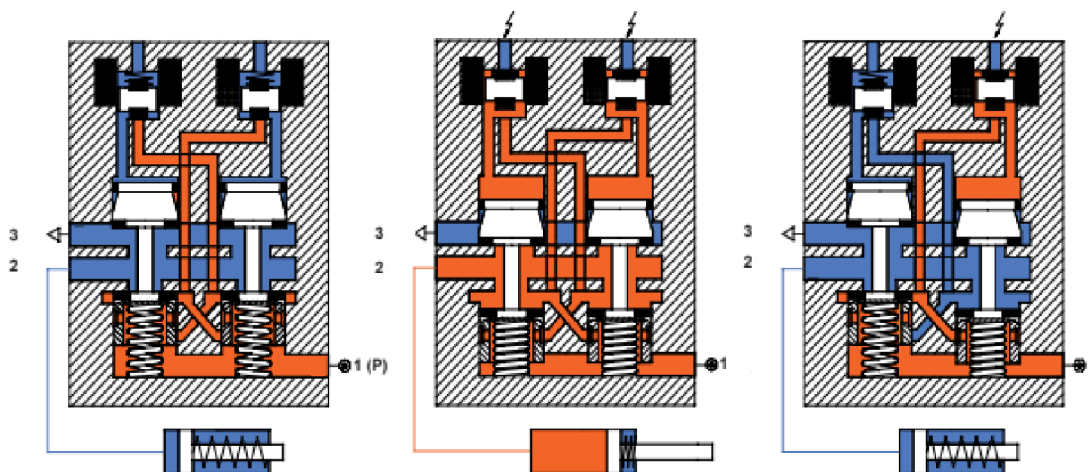
Mezi moderní uzavírací armatury patří kulové kohouty. Jako uzavírací orgán je použita přesně broušená koule s průtočným otvorem. Tato koule se může otáčet a průtočný otvor tak nastavovat do proudu tekutiny. I přes dnešní velmi pokročilé výrobní technologie zůstává u kohoutů největším problémem utěsnění těsnících ploch. Existuje konstrukční provedení s tzv. plovoucí koulí. Uzavírací kulový prvek je zde veden v sedle a přitlačování k sedlu v uzavřené poloze zajišťuje tlak pracovní látky. U kohoutů určených pro nízké pracovní tlaky může být jedno z těsnění tlačeno na těsnící kouli za pomoci matice. Pro vyšší pracovní tlaky by však síla vyvozená utažením matice nemusela být dostatečná, proto se pro ně toto konstrukční řešení nepoužívá. Pro vysoké tlaky a velké světlosti jsou kulové závěry otočné v ložiskách a sedla jsou k tělesu koule přitlačována buď pružícími prvky nebo poměrně složitým pneumatickým systémem. Mezi hlavní výhody kohoutů patří to, že mají nepatrné tlakové ztráty díky tomu, že proud kapaliny zde nemění směr. Další velkou výhodou je rychlá manipulace, neboť stačí otočit kouli pouze o 90°. Kohouty je také možné použít pro znečištěné pracovní látky. Jejich použití je ale bohužel omezeno nižšími pracovními teplotami. [29]

5 POŽADAVKY NA BEZPEČNOSTNÍ VENTILY

Jelikož se jedná o bezpečnostní prvky, jsou na tento typ ventilů kladeny speciální požadavky. Tento ventil se používá hlavně u mechanický lisů, a proto musí celý celek dvouručního ovládní spadat do kategorie C3 (dle tabulky 1) a jako takový nesmí mít žádné komponenty červené barvy. Stlačený vzduch, který je do ventilu přiváděn, musí být řádně filtrován. Všechny části ventilů musejí být zbaveny otřepů, které by mohly nějakým způsobem poškodit ventil samotný či jinou část pneumatického obvodu. Ventil jako takový nesmí být upevněn pouze na spojovacím potrubí. Vibrace, které by zde totiž mohly vzniknout, by mohly mít nežádoucí účinek jak na ventil, tak na připojená potrubí. Zároveň ventil musí být konstruován tak, aby v nepracovní poloze průsak kolem vstupního ventilu byl dostatečně volný a zamezilo se tak nárůstu tlaku v pracovním válci spojky. Pracovní ventily musí též splňovat podmínku, že vstupní a výstupní otvory nemohou zůstat uzavřeny současně. Dalším důležitým požadavkem je to, že výstupní otvory a potrubí mezi pracovními válci spojky a bezpečnostními ventily musí mít dostatečnou světlost z důvodu umožnění rychlého vypuštění média z pracovních válců spojky. Ventil musí být navržen tak, aby poměr tlaků mezi spojkou a brzdou v případě poruchy ventilu neumožnil příliš velký nárůst zbytkového tlaku ve válci. Ve většině případů se tento poměr tlaků volí nejméně 3,5 ku 1 mezi tlakem pružiny v brzdě a zbytkovým tlakem ve válci. Tomuto problému se dá předejít použitím dvou ventilů. Jedním pro spojkou a druhým pro brzdu. Všechny části ventilu musí být dimenzovány na maximální možný tlak, který se v obvodu může nacházet. Proti dalšímu zvýšení tlaku jsou do obvodu umísťovány pojistné ventily. Ventil musí být řádně utěsněn a žádná netěsnost nesmí být možnou příčinou rizika. Je také zapotřebí, aby byl snadno rozebíratelný a umožňoval snadný přístup z důvodu kontroly, údržby či nastavení. V případě, kdy do ventilu nejde žádný signál, nesmí ventilem procházet ani zbytkové množství stlačeného vzduchu. Vstupní a výstupní otvor z ventilu nesmějí být snadno zaměnitelné, aby nemohlo dojít k jejich nesprávné montáži. Z tohoto důvodu je vhodné všechny otvory označit. Toto označení musí odpovídat označení na výkrese a nesmí s ním být v rozporu. Popřípadě lze otvory navrhnout tak, aby nemohlo dojít k jejich zaměnění při připojení k obvodu. Otvory musí být také ochráněny během transportu, a to až do doby, než dojde k jejich montáži. Při konstrukci se musí brát také zřetel na působení gravitační síly, a tedy také na to, jak bude ventil orientovaný. V případě konstrukce ventilu, který má být použit ve více instancích, je vhodné, aby mohl být použit v jakékoliv orientaci. Pro ventil by mělo být vybráno vhodné mazadlo. Toto mazadlo by mělo být stejné pro všechny prvky v pneumatickém obvodu. [10] [7]

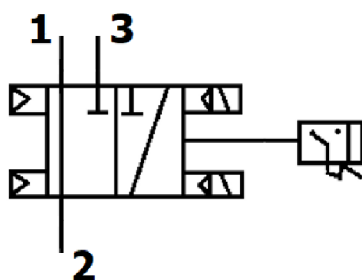
6 PROVEDENÍ BEZPEČNOSTNÍHO VENTILU

Hlavní částí ventilu je těleso ventilu, které může být z praktického hlediska rozděleno do několika částí spojených například šroubovými spoji. Může být celé odlito, popřípadě obrobena z plného polotovaru. Další velmi důležitou částí jsou dva písty, z nichž každý je vybaven třemi těsněními plochami. Pohybem těchto pístů se otevírají různé cesty v tělese ventilu. Další důležitou součástí jsou pružiny, které zpomalují píst při přesunu z jedné pozice do druhé. Důležitým prvkem je zde také těsnění mezi všemi součástmi.



Obrázek 15. Schéma bezpečnostního ventilu [26]

Důležitou součástí ventilu jsou také dva elektricky ovládané ventily. Ty se skládají z tělesa ventilu, pohyblivé hřídele, která je pružinou dotlačována k těsnění a solenoidů, které po přivedení elektrického signálu pohnou s pohyblivou hřídelí a umožní tím průtok stlačeného vzduchu nad ovládací písty bezpečnostního ventilu.

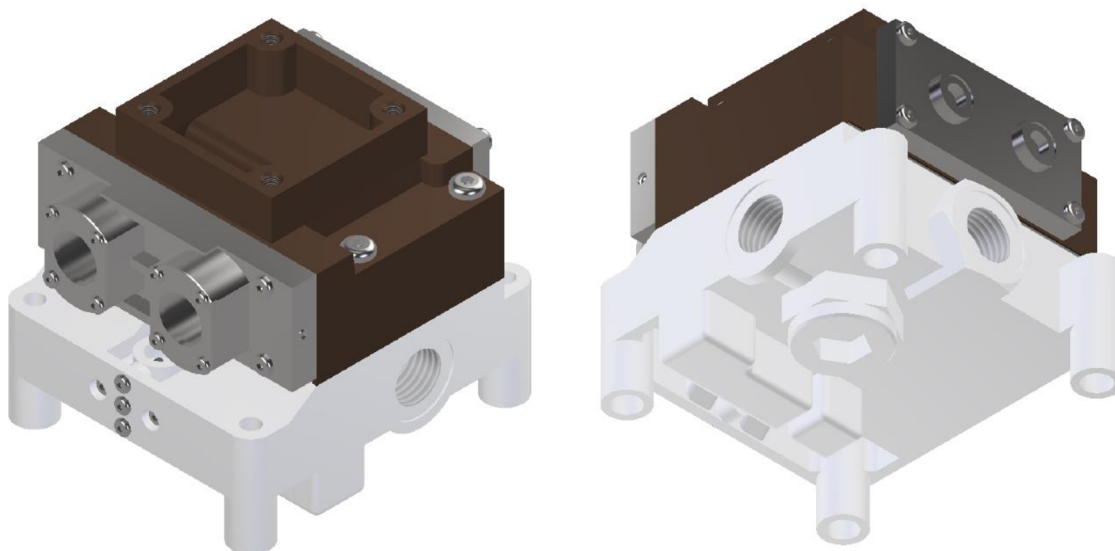


Obrázek 16. Schematická značka bezpečnostního ventilu

Na obrázku 15 vidíme schéma tohoto typu ventilu. Číslem 1 je zde označen přívod stlačeného vzduchu, číslem 2 je označen odvod stlačeného vzduchu a číslem 3 výfuk přebytečného vzduchu ven z ventilu. Na prvním schématu je ventil v situaci, kdy jsou oba elektricky ovládané ventily v uzavřené poloze. Do bezpečnostního ventilu tedy nepřichází žádný signál a neprochází jím žádný stlačený vzduch. Za povšimnutí stojí to, že i v uzavřeném stavu je přívodními kanálky veden stlačený vzduch až k elektrickým ventilům. V těchto kanálcích je stlačený vzduch po posledním spuštění nebo v případě, že ke spuštění delší dobu nedošlo, se tyto kanálky napustí skrz neutěsněné místo přímo ze spodní stále natlakované části. V případě, že jsou obě tlačítka současně stisknuta, stlačený vzduch projde elektricky ovládaným ventilem, posune ovládací písty, stlačí obě pružiny a umožní tak průchod stlačeného vzduchu hlavním kanálem. Když poté jedno či obě tlačítka uvolníme, síla vytvořená tlakem nad písty se sníží natolik, že vstupní tlak na opačné straně pístů ji přetlačí a tím vrátí píst či písty zpět do původní polohy. V situaci, kdy stiskneme pouze jedno tlačítko, se stlačený vzduch dostane přes kotvu nad jednu z os a posune ji směrem dolů. Zároveň však také upustí stlačený vzduch z druhého kanálku a když poté stiskneme druhé tlačítko, tak už nad druhou osou nebude dostatečný tlak na posunutí druhé osy. Schematická značka tohoto ventilu je na obrázku 16.

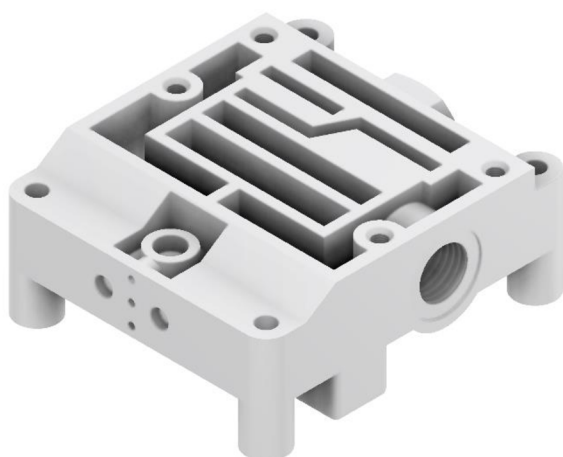
7 KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ

Na obrázku 17 můžeme vidět, jak vypadá konkurenční typ tohoto ventilu ve skutečnosti. Tělo tohoto konkrétního ventilu se skládá ze dvou hlavních částí a dvou vík. Všechny tyto části jsou spojeny pomocí šroubových spojů, konkrétně průchozími šrouby.

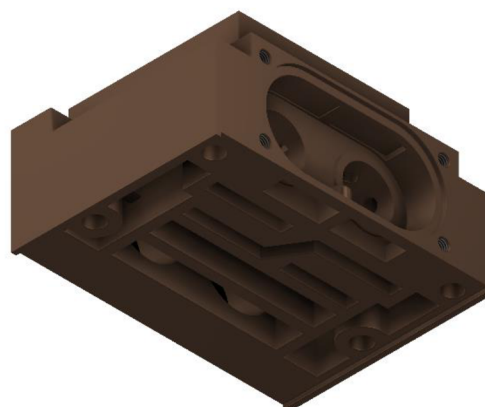


Obrázek 17. Model ventilu

Spodní část má 2 hlavní funkce. První z nich je, že slouží k uchycení celého ventilu ke stroji či jiné pevné podložce. K tomu jsou určeny 4 nožičky s průchozími otvory, kterými je za použití šroubových spojů ventil ke stroji upevněn. Druhou funkcí je, že tato část obsahuje otvor sloužící k připojení stlačeného vzduchu a také otvor pro připojení zařízení, které je stlačeným vzduchem poháněno. Za povšimnutí stojí také to, že jeden z těchto otvorů má okolo sebe šestiúhelníkové osazení. To je zde z důvodu jednoznačné identifikace obou otvorů. Je zde také možnost připojit poháněné zařízení k ventilu ze spodní strany. V této konfiguraci je tento otvor zakryt zátkou. Uvnitř této části se nachází řada komor, které však nejsou navzájem v této komponentě nijak propojeny. K jejich spojení dojde až při kompletaci s horní částí těla ventilu. Tyto komory musí mít určitý objem. Proto jsou na spodní straně tohoto dílu dvě kapsy, které objem určitých komor zvětšují. Také se zde nacházejí otvory pro připojení indikátoru poruchy a vyrovnávače tlaku.

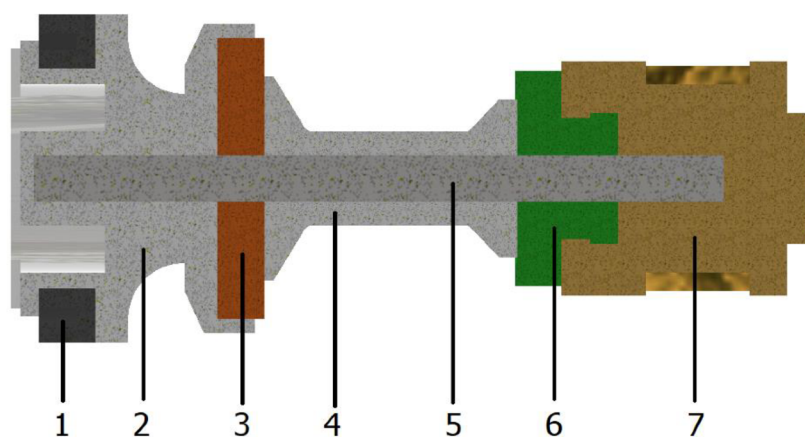


Obrázek 18. Spodní část ventilu



Obrázek 19. Horní část ventilu

Spodní součást ventilu je na obrázku 18. Mezi spodní a horní část je vloženo těsnění, které je tvořeno kovovou destičkou, na kterou je nalepeno pryžové těsnění určitého tvaru. V horní části jsou umístěny pohyblivé písty a dochází zde tedy k procesu otevírání a zavírání ventilu. Horní část bezpečnostního ventilu je na obrázku 19. Na tomto dílu je také otvor určený pro výfuk stlačeného vzduchu z poháněného zařízení zpět do volné atmosféry. Jelikož při tomto odfuku vzniká nezanedbatelná akustická emise, umísťuje se na tento otvor většinou tlumič hluku, který ji potlačí na přijatelnou úroveň. Písty, které jsou uvnitř tohoto dílu, se dovnitř vkládají rozložené a sestavují se až při montáži s horním dílem. Pod menším z vík jsou zároveň pružiny určené k vracení pístů do původní polohy po uzavření elektrických ventilů. Ty jsou pomocí tohoto víka stlačeny na požadovanou úroveň tak, aby kladly potřebný odpor. Větší z vík obsahuje výše zmíněné elektrické ventily, upevněné pomocí přírub. Jejich spojení je opět tvořeno šroubovým spojem. Toto víko v sobě má kanály, díky kterým dochází k podmíněnému spojení komor (podmínka v podobě iniciace elektrického signálu v jednotlivých elektrických ventilech) v horním dílu. Všechny tyto 4 díly jsou zde vyrobeny jako odlitky. Konstrukce pístů je složitější. Řez jedním z nich je vidět na obrázku 20.

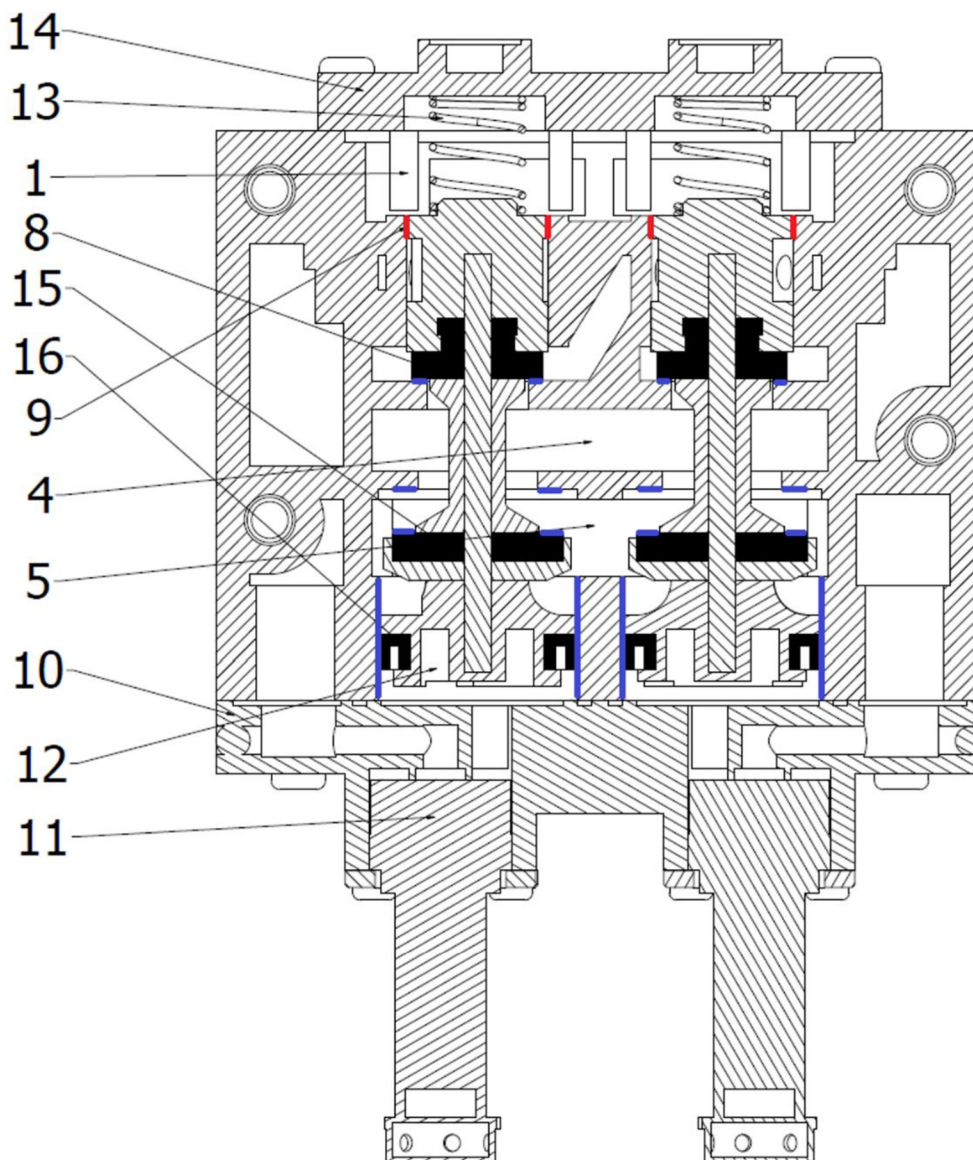


	Název	Materiál
1	Těsnění	Pryž
2	Nosná část	plast
3	Těsnění	pryž
4	Nosná část	plast
5	Hřídel	Kov
6	Těsnění	plast
7	Nosná část	kov

Obrázek 20. Píst bezpečnostního ventilu

8 KONKRÉTNÍ PRINCIP FUNKCE

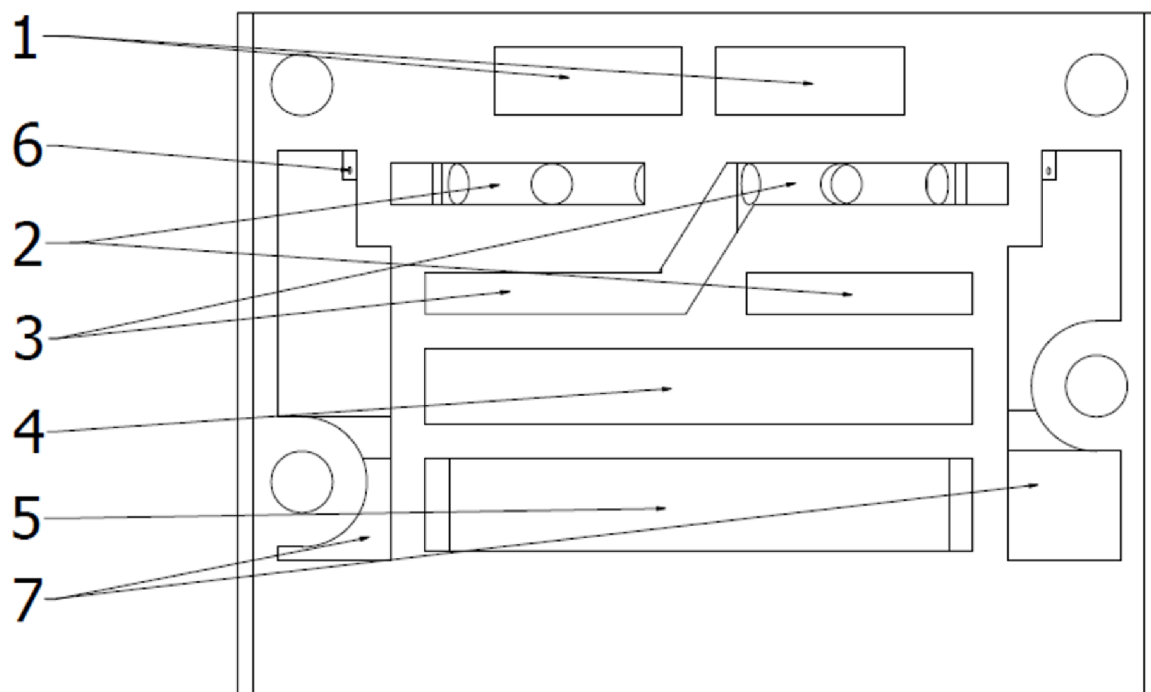
Na obrázku 21 je řez celým ventilem a na obrázku 22 je pohled na horní díl, ve kterém jsou upnuty takzvané vložky. Na těchto dvou obrázcích lze demonstrovat celou funkci ventilu. Stlačený vzduch je skrze spodní díl přiveden do komory 1. Odtud se skrze netěsnost 9 dostane do komor 2 a 3 a otvorem 6 i do komory 7.



Obrázek 21. Řez bezpečnostním ventilem

Všechny tyto komory jsou tedy neustále pod tlakem, avšak jejich natlakování na pracovní tlak určitou dobu trvá. V místě netěsnosti 9 se setkává horní část tělesa ventilu s částí pístu. Obě tyto části jsou kovové a mají mezi sebou vůli méně než 1 mm. I to však stačí k tomu, aby plocha této netěsnosti byla téměř 4 mm^2 . Otvor 6 je vyvrtaný do horního tělesa, má průměr 1 mm a spojuje komory 2 a 3 s komorou 7. Číslem 8, 15 a 16 jsou označena těsnění a modrou barvou

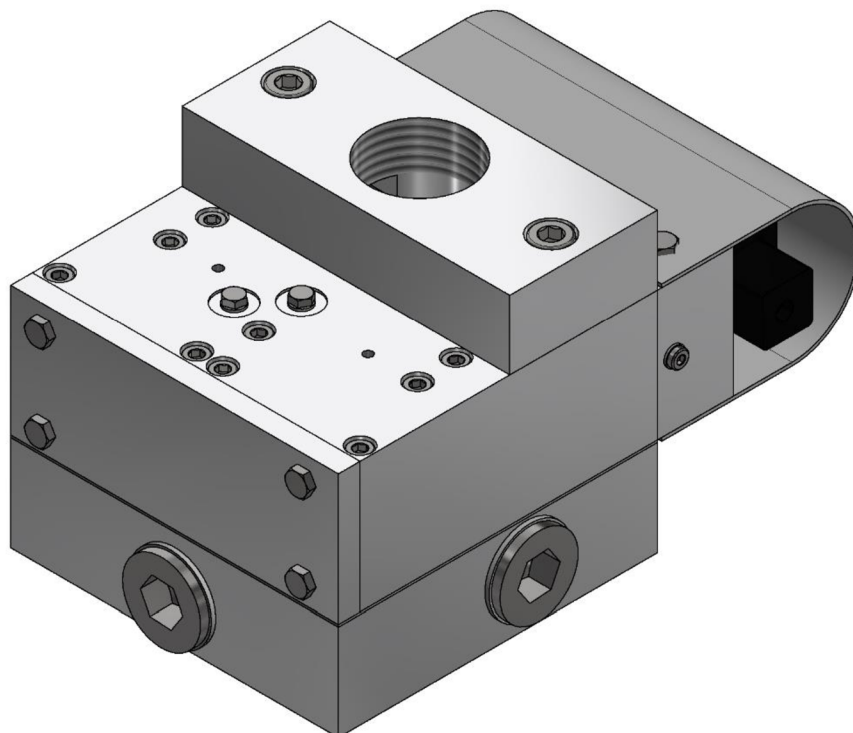
těsnící plochy. Těsnění 16 je radiální (pístové) a těsní za všech okolností. V případě, že není stisknuté žádné z tlačítek, tak těsní těsnění označené 8. V případě, že se jeden píst zdvihne (vlivem stisknutí tlačítka, přivedením signálu do elektrického ventilu a jeho následném otevření), kanál uzavřený těsněním 8 se otevře a stlačený vzduch se dostane do komory 4. Zároveň tento píst utěsní jeden otvor spojující komoru 4 s komorou 5. Aby ventil fungoval správně, nesmí v případě stisknutí jednoho tlačítka propustit stlačený vzduch. Na obrázku ale vidíme, že v případě stisknutí jednoho tlačítka se stlačený vzduch dostane do komory 4, která je přímo napojená na výstup z ventilu. Jelikož je tato komora spojena pro oba písty, stlačený vzduch se kolem druhého pístu dostane i do komory 5, která je napojena na výfuk. A jelikož výfuk má větší průměr a klade menší odpor, stlačený vzduch bude vždy proudit tam.



Obrázek 22. Pohled na horní část ventilu

9 PROVEDENÍ NAVRHNUTÉHO VENTILU

Navrhnutý ventil (obrázek 23) se skládá ze stejných konstrukčních celků jako ventil konkurenční. Hlavní část je tvořena tělem ventilu, které se skládá ze spodního a horního dílu. K nim jsou upevněna 3 víka, z nichž v jednom jsou upevněny elektrické ventily. Do horního dílu jsou vloženy vložky (viz kapitola 10.3), v nichž se pohybují písty. Ty jsou složeny ze 3 částí, mezi kterými jsou umístěna těsnění a spolu s nimi jsou nasazeny na hřídel. Většina dílů však musela být kompletně přepracována či pozměněna z důvodu odlišných výrobních technologií, které mohou být použity.



Obrázek 23. Navrhnutý ventil

9.1 POUŽITELNÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE A MATERIÁLY

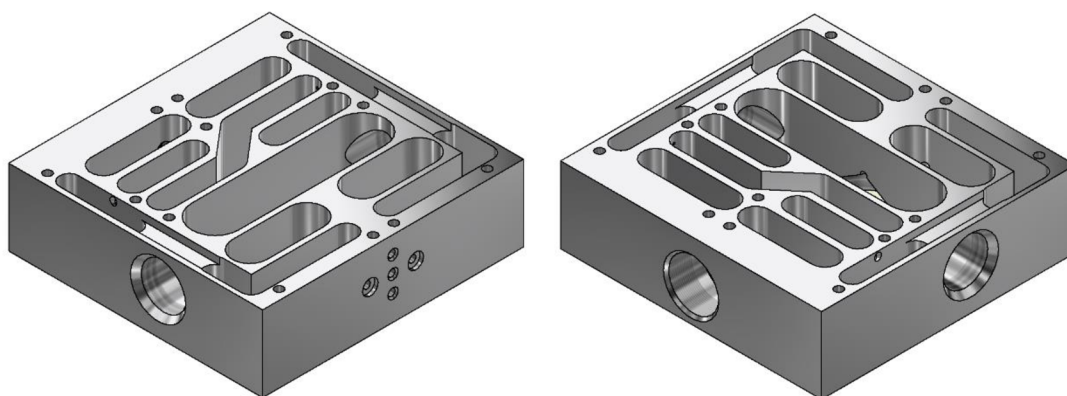
V první fázi se bude tento ventil vyrábět v malých sériích, proto nelze použít technologie typické pro sériové či velkosériové výroby, jako je odlévání nebo kování. To představuje značné omezení, jelikož odlévání poskytuje možnost ve velkých sériích levně vyrábět díly velmi složitých tvarů. Hydraulické či pneumatické bloky mají většinou celou síť různě propojených komor. V případě navrhovaného ventilu musí být všechny vyráběné díly obráběné klasickým způsobem obrábění. Díly tedy mohou být buď frézované, soustružené či vrtané. Z dokončovacích operací je možné díly brousit.

Jako materiál všech dílů, které zde plní funkci pneumatického bloku, byla zvolena hliníková slitina, konkrétně AlCuMg1. Tento materiál byl zvolen hlavně z důvodu jeho snadné obrobitelnosti. Tyto díly jsou namáhány pouze vnitřním tlakem stlačeného vzduchu a vlastní vahou. Nejedná se tedy o nijak extrémně zatěžované součásti, a proto jsou pevnostní charakteristiky této slitiny pro tyto díly dostatečné.

9.2 SPODNÍ DÍL

Tento díl je součástí pneumatického bloku. Je tedy vyráběn ze slitiny AlCuMg1. Jako u všech ostatních dílů, i zde byla snaha o co nejkompaktnější rozměry, a to jak z důvodu nízké pořizovací ceny polotovaru, tak i menších zástavbových rozměrů celého ventilu.

Tento díl zajišťuje připojení ke zdroji stlačeného vzduchu a také připojení vedoucí k brzdě a spojce (na obrázku 15 označeno jako 1 a 2). To je možno připojit z obou stran, díky čemuž se usnadní montáž celého pneumatického systému. Otvor ve spodní části umožňuje připojení k potrubí o větším průměru. V tomto dílu je také vyfrézována sada drážek, které po spojení s horním dílem zajišťují vedení stlačeného vzduchu pod elektrické ventily. Díky těmto drážkám je stlačený vzduch také veden dále do obvodu do brzdy a spojky.



Obrázek 24. Spodní část ventilu

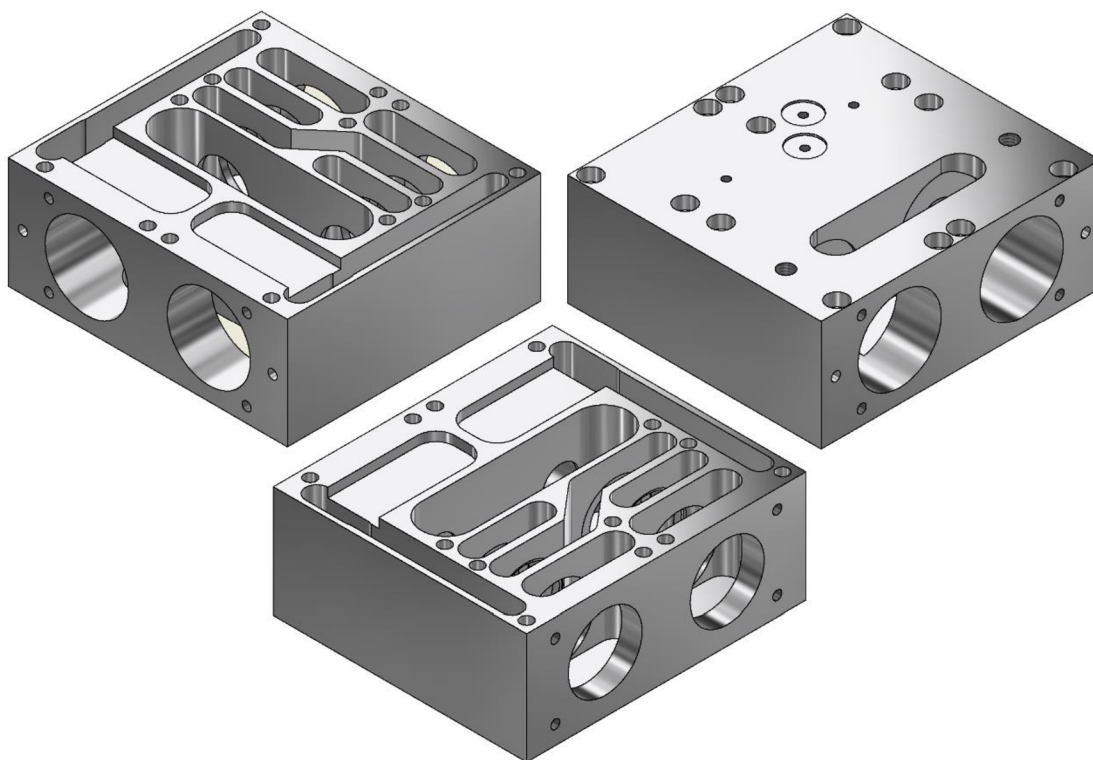
Důležitou částí tohoto dílu je otvor o průměru 1,01mm, kterým je stlačený vzduch přiváděn právě do komory, která vede k elektrickým ventilům. Velikost plochy tohoto otvoru a také velikost výše zmíněné komory je velmi důležitá pro splnění podmínky synchronního ovládání (viz 3.1).

V tomto dílu jsou zároveň otvory pro připojení modulu, který zabraňuje rázům. Ten je možné ukotvit k tělesu pomocí 3 otvorů. Zároveň jsou zde připraveny dva otvory, které vedou stlačený vzduch přímo do tohoto modulu.

Tento díl se spojuje pouze s horním dílem a to 13 šrouby M6. Jejich poloha byla volena tak, aby nezasahovala do ostatních děr, a to hlavně v horním dílu. Na obrázku 24 jsou 2 pohledy na tento díl a na obrázku 34 je spodní díl v sestavě celého ventilu. Výkres celého dílu je v příloze III.

9.3 HORNÍ DÍL

Stejně jako spodní díl i díl horní je součástí pneumatického bloku a vyroben je s téže slitiny AlCuMg1. A stejně tak byl tento celý díl frézován a vrtán. Tento díl má v sobě otvor, který slouží jako výfuk. Víko, které má být na tento otvor přišroubováno, je opatřeno otvorem se závitem, který umožňuje připojení tlumiče hluku. Horní díl je spojen se spodním dílem (viz 9.2) a mezi ně je vloženo speciální ploché těsnění. V tomto dílu jsou také drážky, které po spojení se spodním dílem vedou stlačený vzduch nad písty. Drážky mají tvar X a to znamená, že stlačený vzduch se okolo levého pístu dostane nad píst pravý a naopak. Zároveň jsou do něj umístěné vložky (viz. příloha III), které jsou vyrobeny z pevnějšího a tvrdšího materiálu a umožňují, aby část pístu, která se ve vložkách pohybuje, byla vůči vložkám uložena s vůlí a díky tomu umožňovala prostup malému hmotnostnímu průtoku stlačeného vzduchu do komory vedoucí k elektrickému ventilu. V tomto dílu jsou také z vrchní strany otvory pro připojení modulu, který zaznamená případnou poruchu a zastaví celý stroj.



Obrázek 25. Horní část ventilu

Dále jsou k němu upevněna dvě víka. Jelikož jsou tato dvě víka i spodní díl spojeny s horním dílem za pomoci šroubových spojů, musely být velikosti a polohy všech děr a drážek voleny tak, aby se navzájem neprotínaly a aby mezi nimi byla co největší možná tloušťka stěny. Na obrázku 25 jsou 3 pohledy na tento díl a na obrázku 35 je tento díl v sestavě celého ventilu. Jeho výkres je v příloze III.

9.4 VÍKA

Tato konstrukce ventilu obsahuje 3 víka, která jsou všechna přišroubována k hornímu dílu. Víko 1 slouží pouze pro držení pružin a dalších dílů uvnitř ventilu. Je konstruováno jako kvádr se 4 průchozími otvory pro šrouby.

Víko 2 je umístěno k otvoru pro výfuk z horního dílu. Toto víko je kvádr se dvěma průchozími otvory pro šrouby a jedním průchozím otvorem se závitem.

Víko 3 je nejzajímavější a nejsložitější, jelikož jsou v něm umístěny elektrické ventily a také části cest, kterými se k nim dostane stlačený vzduch z horní části. Je tvořeno z kvádrů, do kterého jsou ze všech stran vyvrtány otvory a vyfrézovány drážky. Elektrické ventily jsou s víkem spojeny pomocí přitlačných destiček spojených s víkem šrouby s kuželovou hlavou. Nebrání tak umístění solenoidů přímo nad ně. Na toto víko je také přišroubovaný kryt. Otvory v tomto dílu jsou poměrně složité a jelikož mají být zhotoveny vrtáním, je zapotřebí nežádoucí vstupy po vrtáku zacelit. Proto jsou na vnějším povrchu tohoto víka 2 zátky, které nežádoucí otvor zacelují. Výkres tohoto krytu je v příloze III.

9.5 VLOŽKY

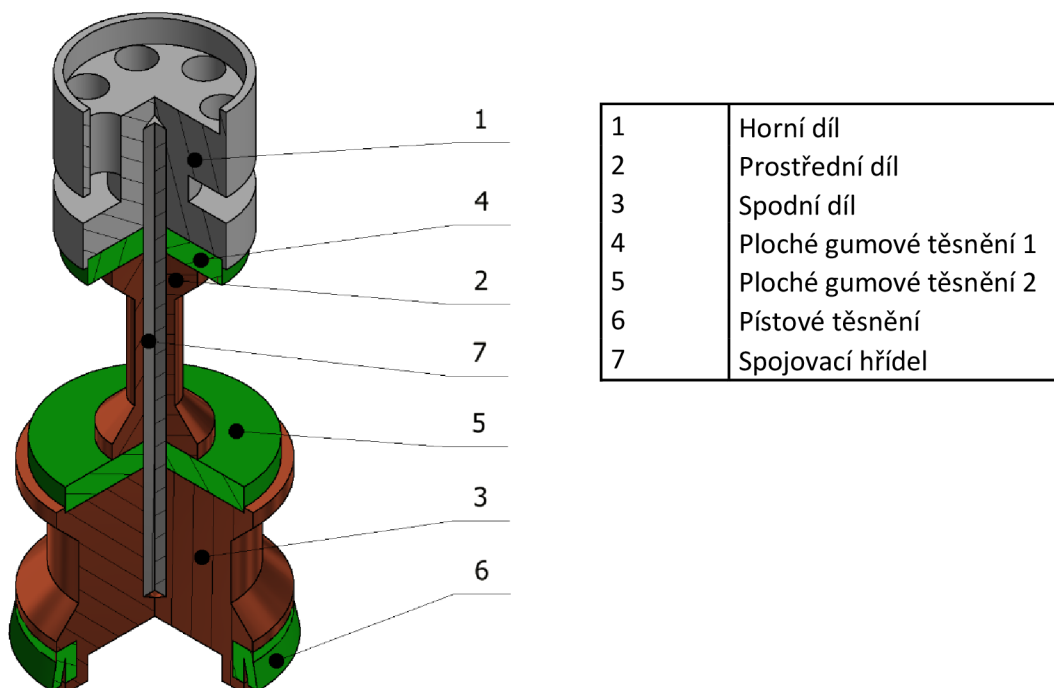
Tyto vložky jsou vloženy do horního dílu a zajišťují správnou velikost vůle mezi vnitřní válcovou plochou vložky a vnější válcovou plochou na horní části pístu (viz 10.6). Vložka je opřena za jedno osazení o horní část ventilu a z druhé strany je přitlačována rozpěrnou trubkou a víkem 1. Je zde také vyvrtáno 16 otvorů, které slouží pro vedení stlačeného vzduchu proudícího skrze horní část pístu dále do tělesa ventilu. Dále je zde také drážka na O kroužek zajišťující utěsnění dvou komor v horní části ventilu. Na obrázku 26 je pohled na vložku.



Obrázek 26. Vložka

9.6 PÍSTY

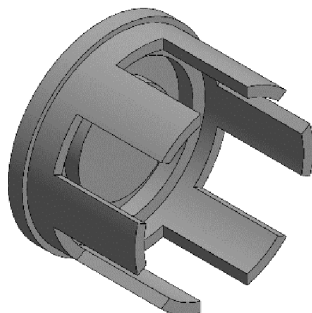
Tento typ ventilu obsahuje dva písty. Každý se skládá ze tří hlavních částí. Všechny tyto části jsou soustruženy či vrtány. Horní část má v horním čele vybrání, ve kterém je vedena pružina. Dále je zde sada šesti otvorů v kruhovém poli, kterými se přivádí stlačený vzduch do zápichu, který je umístěn níže. Válcová plocha na tomto dílu musí být tolerována s relativně vysokou přesností (IT 7 až 6), jelikož vůlí mezi touto plochou a vnitřní plochou vložky proudí stlačený vzduch do komory vedoucí pod elektrický ventil. Na spodním čele tohoto dílu je vybrání pro umístění plochého gumového těsnění. V tomto dílu je také díra, která slouží pro vložení spojovací hřídele. Spodní část tohoto pístu má stejně jako část horní na obou čelech vybrání. Vybrání na horním čele slouží k upevnění druhého plochého gumového těsnění. Na spodní čelo této části pístu je přiveden stlačený vzduch. Jelikož čelo této části doléhá na víko 3, síla vzniklá působením tohoto tlaku na plochu otvoru ve víku 3 (kterým je tlak přiveden od elektrického ventilu nad píst) by byla příliš malá. Proto je zde vybrání, které zvyšuje plochu, na kterou působí řídicí tlak, tím pádem se zvyšuje síla, která při tom působí na píst. Z boku tohoto dílu je drážka na pístové těsnění, díky kterému se stlačený vzduch nedostane okolo tohoto dílu. Je zde také díra pro vložení spojovací hřídele. Prostřední část tohoto pístu slouží pouze jako vymezení rozpěrná trubka, která udržuje dostatečnou vzdálenost mezi těsnícími plochami, tedy těsněními uloženými v horním a dolním dílu. Je však zapotřebí, aby v kontaktu mezi tímto dílem s těsněními byla určitá plocha, na které se rozloží působící tlak. V případě příliš nízké stykové plochy může dojít k otlacení v těsnění a následnému zkrácení celého pístu, což by fakticky znamenalo vyřazení celého ventilu z provozu. V tomto dílu je také vyvrtána průchozí díra pro spojovací hřídel, která je poslední vyráběnou částí na pístu. Jedná se o jednoduchou válcovou hřídel, která je ve všech dílech uložena s vůlí. Celý píst je tak rozebíratelný a pohromadě drží díky přitlačování pružinou k víku 3. Sestava celého pístu včetně popisu jednotlivých částí je na obrázku 27 a výkres této sestavy je v příloze III.



Obrázek 27. Sestava pístu

9.7 OSTATNÍ VYRÁBĚNÉ DÍLY

Součástí ventilu jsou dvě pružiny, které vrací písty zpět do původní polohy. S touto silou je nutno počítat ve výpočtu silových poměrů na pístu. Tyto pružiny budou muset být vyrobeny jako zakázkový díl. Jedná se o klasické šroubovitě pružiny se zarovnanými konci. Jejich délka a vnější průměr byly voleny dle zástavbových rozměrů a průměr drátu byl volen tak, aby při stlačení bylo dosaženo požadované síly.



Obrázek 28. Rozpěrná trubka

Dalšími díly jsou rozpěrné trubky (obrázek 28), které jsou vloženy do prostoru mezi víko 1 a vložky. Jsou na ně také umístěné těsnící O kroužky, díky kterým už není na víku 1 zapotřebí další těsnění.

Dalším dílem je speciální ploché těsnění, které se umísťuje mezi spodní a horní díl. Jedná se o desku z plechu, která je z obou stran pogumována. Tento díl bude také vyráběn na zakázku. Otvory v něm jsou buď vysekávané nebo vystřížené. Alternativou k tomuto těsnění by byla sada O kroužků, které by mohly být vloženy mezi horní a dolní díl. Toto řešení by ovšem bylo finančně téměř stejně nákladné a montáž by byla časově mnohem náročnější.

9.8 NAKUPOVANÉ DÍLY

Kromě dílů, které budou vyráběné, je zapotřebí množství dílů kupovaných. Mezi tyto díly patří vše od elektrických ventilů až přes různá těsnění atd. Všechny tyto díly by měly být určeny buď normou ČSN EN či podnikovou normou daného výrobce. Tyto díly by tak měly být snadno nahraditelné.

9.8.1 ELEKTRICKÉ VENTILY

Elektrické ventily jsou důležitou částí této konstrukce. Jsou to jednoduché ventily, které po přivedení elektrického signálu umožní průchod stlačenému vzduchu. Jedna z hlavních částí těchto elektrických ventilů je tělo, které obsahuje závity pro přivedení a odvedení stlačeného vzduchu a zároveň jsou k němu upevněny ostatní části tohoto ventilu. V tomto případě je však tělo odebráno a ostatní části jsou vloženy do víka 3. Další částí je solenoid, který obsahuje přípojku pro drát, jímž vede signál. Solenoid je okolo ovladače (obrázek 29), který je poslední částí tohoto ventilu. Existuje mnoho variant a typů těchto elektrických ventilů. Základní funkční dělení je samozřejmě dle požadovaného průtoku stlačeného vzduchu nebo také podle počátečního stavu. Existují totiž ventily, které jsou v klidovém stavu otevřené a elektrický signál je uzavře. Samozřejmě také existují ventily univerzální, u kterých je možné toto nastavit. Pro tuto konstrukci však byly zvoleny ventily, které jsou v klidovém stavu uzavřené. Dalším možným dělením je dělení podle typu připojení operátoru k tělu. Zde jsou většinou pouze dvě varianty, a to připojení pomocí závitu a připojení přitlačné, kdy je těleso ventilu přitlačeno ke zbytku konstrukce. Toto provedení bylo zvoleno pro konstrukci tohoto bezpečnostního ventilu. Pro tento typ bezpečnostního ventilu jsou zapotřebí dva tyto elektrické ventily. [30]



Obrázek 29. Ovladač elektrického ventilu. [30]

9.8.2 O KROUŽKY

Jelikož se pneumatický blok v této konstrukci skládá z několika částí, je zapotřebí navzájem je utěsnit. K tomu jsou vhodné právě O kroužky (obrázek 30). Jde o silikonové anuloidy s kruhovým průřezem. Drážky pro jejich vložení však mají obdélníkový průřez, to znamená, že se kruhový průřez O kroužku při montáži deformuje a vyplní téměř celou drážku. Velikost drážky je dána přímo výrobcem O kroužků. Plocha jejího průřezu musí být menší než plocha průřezu kroužku, aby nedošlo k naplnění drážky.



Obrázek 30. O kroužky [31]

9.8.3 PLOCHÁ GUMOVÁ TĚSNĚNÍ

Tento typ těsnění je v této konstrukci použitý na pístech. Každý z pístů je osazen dvěma těmito těsněními, z nichž každé má jiné rozměry (tloušťka zůstává stejná). Slouží pro těsnění ploch mezi pístem a horním dílem. Příklad těchto těsnění je na obrázku 31.



Obrázek 31. Plochá gumová těsnění [32]

9.8.4 PÍSTOVÁ TĚSNĚNÍ

Jelikož se písty pohybují, je zapotřebí těsnit obvodovou plochu těchto pístů, a to v rozsahu pohybu pístu vůči válci. Proto se na píst umístí pístové těsnění, které zamezí přesunu stlačeného vzduchu z oblasti nad pístem do oblasti pod pístem. Tento typ těsnění je na obrázku 32.



Obrázek 32. Pístová těsnění [33]

9.8.5 PLOCHÁ PLASTOVÁ TĚSNĚNÍ

Tento typ těsnění je použit na místech, která mají být trvale zatěsněná. Proto se používají například pod zátky. Jejich tvar je shodný jako u gumových plochých těsnění.

9.8.6 ZÁTKY

V této konstrukci byl použit klasický typ zátek (obrázek 33) s vnějším trubkovým závitem, který slouží k upevnění k tělesu, a vnitřním šestihranem, který slouží pro dotahování. Jelikož jsou v tomto případě zátky na ventilu trvale, je vhodné utěsnit je pomocí plochých plastových těsnění.



Obrázek 33. Zátka [34]

9.8.7 ŠROUBY

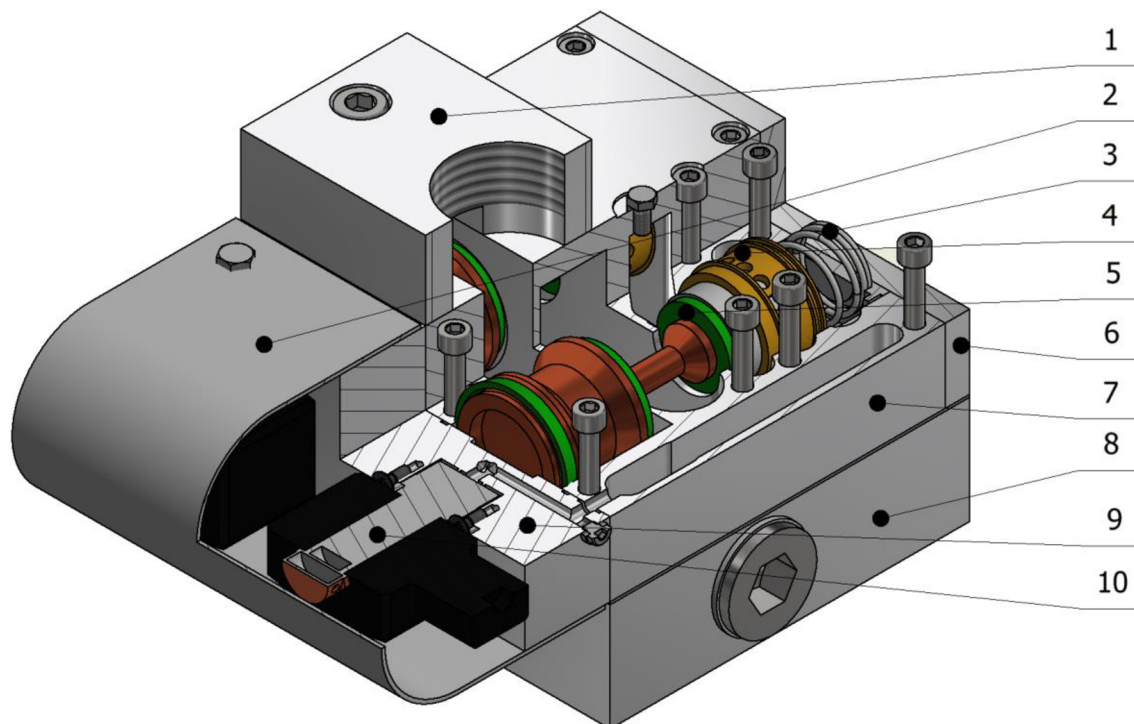
Jelikož se jedná o šroubovanou konstrukci, je zřejmé, že je zde použito množství šroubů různých rozměrů i typů. Nejvíce používaným typem jsou šrouby se zápusťnou hlavou a vnitřním šestihranem. Jsou použity například pro spojení horního a dolního dílu nebo také při spojení horního dílu s víkem 2. Tyto šrouby mají rozměry a vlastnosti dle normy DIN 912. Jsou to šrouby pevnostní s pevnostní třídou 12.9, což znamená, že mez pevnosti je u nich 1200 MPa a mez kluzu je 0,9 násobek této hodnoty, tedy 1080 MPa. Dalším zde použitým typem šroubů jsou šrouby se zápusťnou hlavou. Ty jsou použity například pro uchycení elektrických ventilů ve víku 3. Použity jsou proto, že přímo nad nimi je umístěn solenoid elektrického ventilu, a proto nesmí žádná část přesahovat přes hranu víka 3. Na rozdíl od výše zmíněných šroubů s vnitřním šestihranem mají tyto šrouby podstatně menší kuželovou hlavu, což je zapotřebí například v případě, chceme-li k sobě spojovat úzké součásti a hlava šroubu nemá přesahovat hranu součásti. Tyto šrouby jsou dle normy DIN 7991. Posledním typem použitých šroubů jsou běžné šrouby s vnějším šestihranem. Ty jsou použity v místech, kde není zapotřebí, aby byla hlava šroubu zapuštěna jako například při spojení víka 1 s horním dílem. Tyto šrouby jsou vyráběny dle DIN 933. [35] Všechny typy použitých šroubů jsou na obrázku 34.



Obrázek 34. Typy použitých šroubů [35]

10 MONTÁŽ NAVRHNUTÉHO VENTILU

Nejprve se do horního dílu umístí vložky spolu s těsnícími O kroužky. Poté se každý píst rozdělí na dvě části a z obou stran se vsune do horní části, kde se opět složí v jeden celek. Vložíme dovnitř pružiny a přitlačíme je na písty. Na rozpěrné trubky se nasadí další těsnící O kroužky a vloží se za pružiny. Následně na čela těchto trubek a na čelo horního dílu přiložíme víko 1 a přišroubujeme ho. Na spodní stranu horního dílu se přitiskne ploché těsnění a spodní díl. Z vrchní strany horního dílu se vloží 13 šroubů, s jejichž pomocí se spojí horní se spodním dílem.



1	Víko 2
2	Kryt
3	Pružina
4	Vložka
5	Píst
6	Víko 1
7	Horní díl
8	Dolní díl
9	Víko 3
10	Elektrický ventil

Obrázek 35. Sestava bezpečnostního ventilu.

Do víka 3 se vloží těsnící O kroužek a na něj se umístí elektrický ventil. Z něj je však nejdříve zapotřebí sejmout solenoid. To se provede sejmutím vrchní matice ventilu. Následně se přiloží příložené destičky, do kterých se vloží šrouby, které upevní elektrický ventil ve víku 3. Poté se na stranu, která bude přiložena k horní části ventilu, umístí 4 těsnící O kroužky. Víko 3 by mělo být nyní připraveno na spojení s horním dílem, které se provede za pomoci 4 šroubů. Poté je možné vrátit solenoidy zpět. Toto víko je společně s elektrickými ventily zakrytováno pomocí krytu.

Poslední operací je umístění víka 2 na horní stranu horní části ventilu. Víko je opět přišroubováno, a to 2 šrouby. Všechny hlavní komponenty, ze kterých se ventil skládá, jsou zobrazeny na obrázku 35.

11 VÝPOČTY NAVRHNUTÉHO VENTILU

Pro navržený ventil je zapotřebí provést některé výpočty. Má-li být navrhnutý ventil typu 3C (dle tabulky 1), musí být zajištěna funkce synchronního ovládání. Je tedy zapotřebí, aby v případě iniciace obou signálů došlo k průchodu vzduchu ventilem pouze v případě, že prodleva mezi jednotlivými signály je méně než 0,5 vteřiny.

Nejdůležitějšími parametry, které to ovlivňují, jsou pracovní tlak vzduchu, dále velikost komory vedoucí k elektrickému ventilu a v poslední řadě otvor, kterým se stlačený vzduch z této komory vypouští ven do výfuku. Tento problém lze tedy přeformulovat na příklad s nádrží o určitém objemu, ve které se nachází stlačený vzduch o určitém tlaku, teplotě. V nádrži je otvor, kterým stlačený vzduch uniká do atmosféry. Je tedy zapotřebí sepsat rovnice, které popisují vypouštění stlačeného vzduchu a na jejich základě následně vytvořit matematický model, který bude toto vypouštění charakterizovat. Ve výpočtech, které jsou uvedeny dále, jsou už finální hodnoty zjištěné postupným laděním všech vstupních hodnot, které jsou v rámci konstrukce volitelné.

V prvním kroku je tedy zapotřebí stanovit všechny síly, které na píst působí. Nejdříve je zapotřebí navrhnout pružiny a vypočítat síly, které při daném stlačení vyvozuji.

11.1 VÝPOČET TUHOSTI PRUŽINY

Jedna ze sil, která na píst působí, je síla od pružiny. Nejprve vypočteme dle rovnice (1) tuhost pružiny. V případě pružin jsou voleny všechny její rozměry a materiál. Výstupem z tohoto výpočtu je tuhost zvolené pružiny. Jako materiál byla zvolena pružinová ocel EN 10270-1 typ DH s modulem pružnosti v krutu 81500 MPa. Vzhledem k zástavbovým rozměrům pružiny byl zvolen střední průměr cívky 21,5 mm. Počet činných závitů je vzhledem k rozměrům pružiny vhodné volit mezi 3 až 7. V tomto případě bylo proto voleno 5 činných závitů. Parametry, kterými lze v tomto případě vhodně korigovat tuhost pružiny, jsou v tomto případě tedy průměr drátu, který je zde volen 2,5 mm. [12]

$$k_p = \frac{G_{pr} * d_{pr}^4}{8 * D_{pr}^3 * n_{pr}} \quad (1)$$

$$k_p = \frac{81500 * 2,5^4}{8 * 21,5^3 * 5}$$

$$k_p = 8 \frac{N}{mm}$$

kde:

G_{pr}	[MPa]	modul pružnost v krutu
d_{pr}	[mm]	průměr drátu
D_{pr}	[mm]	střední průměr cívky
n_{pr}	[-]	počet činných závitů
k_p	[N/mm]	tuhost pružiny

11.2 VÝPOČET SÍLY VYVOZENÉ PRUŽINOU

Maximální síla, kterou tato pružina působí, se tedy vypočte z maximálního stlačení, což pro nás představuje maximální posuv pístu, který je zvolen $l = 3,4 \text{ mm}$. Výpočet se provede dle rovnice (2) [12]

$$F_{pr \max} = k_p * l \quad (2)$$

$$F_{pr \max} = 8 * 3,4$$

$$F_{pr \max} = 27,2 \text{ N}$$

kde:

k_p	[N/mm]	tuhost pružiny
l	[mm]	maximální stlačení pružiny
$F_{pr \max}$	[N]	síla od pružiny při maximálním stlačení

11.3 SÍLA OD TLAKU NA VSTUPU VENTILU

Pracovní tlak se pohybuje v rozmezí od 0,196 MPa až 0,785 MPa. Všechny následující výpočty budou tedy provedeny pro obě krajové hodnoty pracovních tlaků. V případě, že bude pracovní tlak jiný než jedna z krajních hodnot, bude hodnota následujících veličin mezi dvěma vypočtenými hodnotami, které jsou získané právě z krajních hodnot pracovních tlaků. Výpočet, při kterém je uvažována nejvyšší hodnota pracovního tlaku, je v následujících výpočtech označen indexem I. Při uvažování nejnižšího pracovního tlaku je označen indexem II.

Pracovní tlak vytváří na vstupní ploše pístu tlakovou sílu. Průměr této plochy je zvolen 0,032 m. Tlaková síla se vypočte dle rovnice (3).

$$F_{vi} = S_v * p_{vi} = \frac{\pi * D_v^2}{4} * p_v \quad (3)$$

$$F_{vI} = \frac{\pi * 0,032^2}{4} * 784532$$

$$F_{vII} = \frac{\pi * 0,032^2}{4} * 196133$$

$$F_{vI} = 630,5 \text{ N}$$

$$F_{vII} = 157,7 \text{ N}$$

kde:

F_{vi}	[N]	síla na vstupní ploše pístu vyvolaná pracovním tlakem
S_v	[m ²]	plocha na vstupní straně pístu vystavená pracovnímu tlaku
D_v	[m]	průměr plochy na vstupní straně pístu vystavená pracovnímu tlaku
p_v	[Pa]	pracovní tlak

11.4 SÍLA OD ŘÍDÍČÍHO TLAKU

Z druhé strany pístu působí síla od řídicího tlaku. Tento tlak bude po stisknutí tlačítka klesat. Počáteční hodnota této síly se vypočte dle rovnice (4). Do této rovnice je zapotřebí zvolit hodnotu průměru plochy, na kterou bude tento tlak působit. Průměr této plochy byl zvolen 0,0045m.

$$F_{si} = S_s * p_{vi} = \frac{\pi * D_s^2}{4} * p_{vi} \quad (4)$$

$$F_{sI} = \frac{\pi * 0,044^2}{4} * 784532 \qquad F_{sII} = \frac{\pi * 0,044^2}{4} * 196133$$

$$F_{sI} = 1192,9N \qquad F_{sII} = 298,2N$$

kde:

F_{si}	[N]	síla na řídicí ploše pístu vyvolaná řídicím tlakem
S_s	[m ²]	plocha na řídicí straně pístu vystavená řídicímu tlaku
D_s	[m]	průměr plochy na řídicí straně pístu vystavená řídicímu tlaku
p_{si}	[Pa]	řídicí tlak

11.5 SILOVÁ BILANCE NA PÍSTU

Aby po stisknutí tlačítka došlo k posunutí pístu, musí platit nerovnice (5)

$$F_{vi} + F_{pr max} < F_{si} \quad (5)$$

$$F_{vI} + F_{pr max} < F_{sI} \qquad F_{vII} + F_{pr max} < F_{sII}$$

$$630,5 + 27,2 < 1192,9 \qquad 157,7 + 27,2 < 298,2$$

$$657,7 < 1192,9 \qquad 184,9 < 298,2$$

kde:

F_{si}	[N]	síla na řídicí ploše pístu vyvolaná řídicím tlakem
F_{vi}	[N]	síla na vstupní ploše pístu vyvolaná pracovním tlakem
$F_{pr max}$	[N]	síla od pružiny při maximálním stlačení

Jelikož rovnice (5) platí, tak při dodržení zvolených parametrů se při současném stisknutí obou tlačítek ventil otevře.

11.6 URČENÍ VLASTNOSTÍ STLAČENÉHO VZDUCHU

Dalším krokem je určení parametrů stlačeného vzduchu v komoře 7. Jelikož se jedná o vzduch, tak Poissonova konstanta je rovna 1,4, plynová konstanta je rovna 287,1 J/kg/K a molární hmotnost je rovna 0,02896 kg/mol. Dále uvažujme venkovní teplotu 20 °C tedy 293,15K a tlak prostředí 98066,5 Pa. Pro výpočet teploty uvažujme napouštění vzduchu do komory jako adiabatický děj, neprobíhá tedy výměna tepla mezi komorou a okolím. Ten je možno popsat rovnicí (6).

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad (6)$$

kde:

T_1	[K]	teplota na počátku děje
T_2	[K]	teplota na konci děje
p_1	[Pa]	tlak na počátku děje
p_2	[Pa]	tlak na konci děje
κ	[-]	Poissonova konstanta

Po vyjádření T_2 a dosazení příslušných tlaků vznikne z rovnice (6) rovnice (7). Po dosazení dvou hraničních tlaků vyjdou příslušné hodnoty teploty.

$$T_{s2i} = \left(\frac{p_{smaxi}}{p_{out}}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} * T_{out} \quad (7)$$

$$T_{s2I} = \left(\frac{784532}{98066,5}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} * 273,15 \quad T_{2II} = \left(\frac{196133}{98066,5}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} * 293,15$$

$$T_{s2I} = 531K$$

$$T_{2II} = 357,4K$$

kde:

T_{out}	[K]	teplota okolního vzduchu volné atmosféry
T_{s2i}	[K]	teplota stlačeného vzduchu po napuštění do komory
p_{out}	[Pa]	atmosférický tlak okolí
p_{smaxi}	[Pa]	tlak stlačeného vzduchu po napuštění do komory
κ	[-]	Poissonova konstanta

Další důležitou veličinou, kterou je potřeba určit, je počáteční měrný objem, hmotnost a hustota. Všechny tyto veličiny dopočítáme ze stavové rovnice (8), do které dosadíme prvky z rovnice (7) a z rovnice (9). V tuto chvíli je zapotřebí určit objem nádrže (či kapsy). Ta může být později iterována pro zpřesnění potřebných výsledků. Je to totiž parametr, který lze snadno změnit, a přitom tyto změny vyvolají velmi jemné reakce. Velikost nádrže (či kapsy) byla zvolena $0,0003\text{m}^3$.

$$p_{si} * V = n_i * R * T_{si} \quad (8)$$

$$n_i = \frac{m_i}{M} \quad (9)$$

Po vyjádření nám vznikne rovnice (10) pro výpočet hmotnosti, rovnice (11) pro výpočet měrného objemu a rovnice (12) pro výpočet hustoty.

$$m_i = \frac{p_{si} * V * M}{R * T_{si}} \quad (10)$$

$$m_I = \frac{784532 * 0,0003 * 0,2896}{287,1 * 531}$$

$$m_{II} = \frac{196133 * 0,0003 * 0,2896}{287,1 * 357,4}$$

$$m_I = 4,47E - 05 \text{ kg}$$

$$m_{II} = 1,66E - 05 \text{ kg}$$

$$\rho_i = \frac{m}{V} = \frac{p_{si} * M}{R * T_{si}} \quad (11)$$

$$\rho_I = \frac{4,47E-05}{0,0003}$$

$$\rho_{II} = \frac{1,66E-05}{0,0003}$$

$$\rho_I = 0,15 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{II} = 0,06 \text{ kg/m}^3$$

$$v_i = \frac{1}{\rho_i} = \frac{V}{m_i} = \frac{R * T_{si}}{p_{si} * M} \quad (12)$$

$$v_I = \frac{1}{0,15}$$

$$v_{II} = \frac{1}{0,06}$$

$$v_I = 6,71 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{II} = 18,06 \text{ m}^3/\text{kg}$$

kde:

p_{si}	[Pa]	řídící tlak
V	[m ³]	objem nádrže (komory)
n_i	[mol]	látkové množství
R	[J/kg/K]	plynová konstanta
M	[mol/kg]	molární hmotnost
m_i	[mol/kg]	hmotnost stlačeného vzduchu
T_i	[K]	teplota stlačeného řídicího vzduchu
v_i	[kg/m ³]	měrný objem stlačeného řídicího vzduchu
ρ_i	[m ³ /kg]	hustota stlačeného řídicího vzduchu

Z vypočtených hodnot lze také dle rovnice (10) vypočítat látkové množství.

$$n_I = \frac{m_I}{M}$$

$$n_{II} = \frac{m_{II}}{M}$$

$$n_I = 0,0015 \text{ mol}$$

$$n_{II} = 0,00057 \text{ mol}$$

11.7 VÝPOČET VÝTOKOVÉ RYCHLOSTI

V dalším kroku je zapotřebí určit počáteční výtokovou rychlost a následně hmotnostní průtok. Nejdříve je však zapotřebí vypočítat kritický tlakový poměr, a to dle rovnice (13).

$$\beta_k = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \quad (13)$$

$$\beta_k = \left(\frac{2}{1,4 + 1} \right)^{\frac{1,4}{1,4 - 1}}$$

$$\beta_k = 0,528$$

kde:

κ	[-]	Poissonova konstanta
β_k	[-]	kritický tlakový poměr

Dalším krokem je výpočet kritického tlaku dle rovnice (14).

$$p_{kri} = \beta_k * p_{s1} \quad (14)$$

$$p_{kri} = 0,528 * 784532 \quad p_{krII} = 0,528 * 196133$$

$$p_{kri} = 414454 \text{ Pa} \quad p_{krII} = 103613 \text{ Pa}$$

kde:

p_{kri}	[Pa]	kritický tlak
p_{si}	[Pa]	řídící tlak
β_k	[-]	kritický tlakový poměr

Výtoková rychlost se vypočítá dle rovnice (15). Jelikož je kritický tlak větší, než tlak prostředí, bude v obou případech použit místo něj.

$$w_{ki} = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} * p_{si} * v_i \left[1 - \left(\frac{p_{kri}}{p_{si}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]} \quad [28] \quad (15)$$

$$w_{kI} = \sqrt{\frac{2 * 1,4}{1,4 - 1} * 784532 * 6,71 \left[1 - \left(\frac{414454}{784532} \right)^{\frac{1,4 - 1}{1,4}} \right]}$$

$$w_{kI} = 421,7 \text{ m/s}$$

$$w_{kII} = \sqrt{\frac{2 * 1,4}{1,4 - 1} * 196133 * 18,06 \left[1 - \left(\frac{103613}{196133} \right)^{\frac{1,4 - 1}{1,4}} \right]}$$

$$w_{kII} = 345,99 \text{ m/s}$$

kde:

p_{kri}	[Pa]	kritický tlak
p_{si}	[Pa]	řídící tlak
κ	[-]	Poissonova konstanta
v_i	[kg/m ³]	měrný objem stlačeného řídicího vzduchu
w_{ki}	[m/s]	výtoková rychlost

11.8 VÝPOČET HMOTNOSTNÍHO PRŮTOKU

Posledním krokem je výpočet hmotnostního průtoku za zvolenou jednotku času dle rovnice (16). V této práci byl čas rozdělen na tisíce sekundy, proto je v následujícím kroku vypočten objemový průtok v kilogramech za tisícinu sekundy. Je také nutné si určit průměr otvoru, jímž stlačený vzduch z nádrže (komory) uniká. Tento průměr je klíčový, neboť i malá změna jeho velikosti vyvolá výrazné změny v dalších výpočtech. Tento průměr byl zvolen 1,01mm.

$$Q_{mi} = S_o * w_i * \rho_i = \frac{\pi * d_0^2}{4} * w_i * \rho_i \quad (16)$$

$$Q_{mI} = \frac{\pi * 0,001^2}{4} * 421,7 * 0,15 \quad Q_{mII} = \frac{\pi * 0,001^2}{4} * 345,99 * 0,06$$

$$Q_{mI} = 4,94E - 05 \text{ kg/s} \quad Q_{mII} = 1,5E - 05 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

kde:

w_{ki}	[m/s]	výtoková rychlost
Q_{mI}	[kg/s]	hmotnostní průtok vzduchu za tisícinu vteřiny
S_o	[m ²]	plocha otvoru
d_0	[m]	průměr otvoru
ρ_i	[m ³ /kg]	hustota stlačeného řídicího vzduchu

11.9 URČENÍ TLAKOVÉ BILANCE V KOMOŘE 7

Za tisícinu sekundy klesne hmotnost stlačeného vzduchu o tisícinu hodnoty Q_{mi} . Poté za použití stavové rovnice (8) a rovnice adiabaty (17) přepočítáme všechny ostatní parametry stlačeného vzduchu včetně kritického tlaku. Vždy je zapotřebí zkontrolovat, zda kritický tlak p_{kr} není nižší než tlak venkovní p_{out} . V případě, že by tomu tak bylo, se do rovnice (15) pro výpočet výtokové rychlosti bude dosazovat místo kritického tlaku p_{kr} právě venkovní tlak p_{out} . Poté se opět vypočítá výtoková rychlost a objemový průtok.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1} \quad (17)$$

kde:

T_1	[K]	teplota na počátku děje
T_2	[K]	teplota na konci děje
v_1	[Pa]	měrný objem na počátku děje
v_2	[Pa]	měrný objem na konci děje
κ	[-]	Poissonova konstanta

Tento postup se opakuje do doby, dokud tlak uvnitř nádrže (komory) p_{si} není stejně velký jako venkovní tlak p_{out} . V příloze I a II je znázorněno, jak se budou jednotlivé veličiny vyvíjet v čase. Pro znázornění jsou zde uvedeny pouze hodnoty po 0,02 sekundě.

Dalším krokem je přepočítání sil na pístu po půl vteřině od začátku vypouštění. Tlaky působící na vstupní straně se nezmění, změní se pouze řídicí tlak, tedy tlak v komoře. Z přílohy I a II lze vyčíst tyto hodnoty tlaku.

$$p_{\check{r}I} = 376737 \text{ Pa} \quad p_{\check{r}II} = 120563 \text{ Pa}.$$

Po přepočtení na sílu dle rovnice (5) vyjde síla působící proti stále působící síle vzniklé z vstupního tlaku p_{vi} a síle vyvozené pružinou $F_{pr \max}$.

$$F_{\check{r}I} = \frac{\pi * 0,044^2}{4} * 376737,4 \quad F_{\check{r}II} = \frac{\pi * 0,044^2}{4} * 120563,7$$

$$F_{\check{r}I} = 473,22 \quad F_{\check{r}II} = 151,5N$$

Do rovnice (6) se nyní dosadí místo F_{si} hodnota $F_{\ddot{r}i}$. Tím vznikne nerovnice (18).

$$F_{vi} + F_{pr\ max} > F_{\ddot{r}i} \quad (18)$$

$$F_{vI} + F_{pr\ max} > F_{\ddot{r}I}$$

$$630,5 + 27,2 > 473,22$$

$$657,7 > 473,22$$

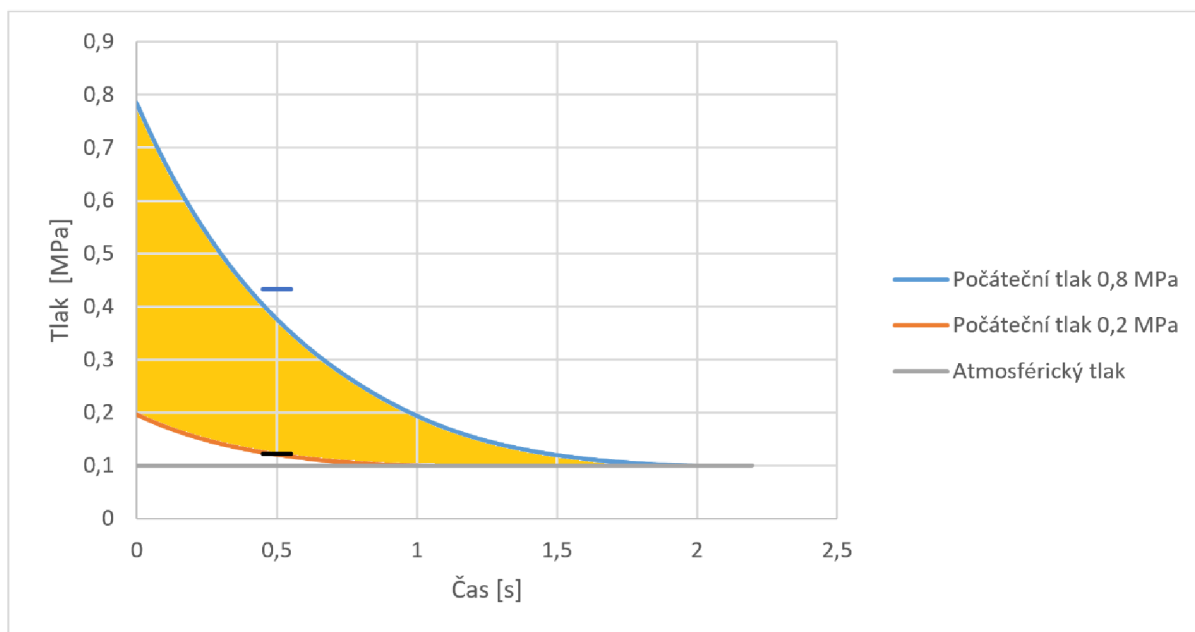
$$F_{vII} + F_{pr\ max} > F_{\ddot{r}II}$$

$$157,7 + 27,2 > 151,5$$

$$184,9 > 151,5$$

Jelikož obě tyto nerovnice stále platí, lze vstupní hodnoty ještě dále optimalizovat. Graf na obrázku 35 ukazuje, jak klesá tlak v obou krajových případech. Zároveň je v něm znázorněn tlak potřebný pro pohnutí druhým pístem. Jak je vidět, po půl vteřině už není ani v jednom případě tlak dostatečný, tedy ventil po této době nereaguje na stisknutí druhého tlačítka. Žlutě vybarvená plocha symbolizuje průběhy všech možných počátečních tlaků.

Z grafu na obrázku 35 popřípadě z výpočtů v příloze I a II lze také vyčíst, že má-li ventilem proudit vzduch do připojeného zařízení (tedy z bodu 1 do bodu 2 dle obrázku 15), musí být signál z druhého tlačítka zpožděn o maximálně 0,463 sekundy.



Obrázek 35. Průběh tlaku v komoře

11.10 VÝPOČET ŠROUBOVÝCH SPOJŮ

Všechny části, ze kterých se tento ventil skládá, jsou navzájem spojeny šroubovými spoji. Ty je potřeba kontrolovat v tahu a také na otláčení v závitech.

Kontrolovaný šroubový spoj je mezi horním a dolním dílem ventilu (viz kapitola 9.2 a 9.3). Velikost plochy, která je vystavena působícímu tlaku S_p , je spočítána přímo v modelovacím softwaru Autodesk Inventor. Jako působící tlak uvažujeme nejvyšší možný pracovní tlak. Velikost maximální síly se poté vypočítá z rovnice (19).

$$F = p_{sl} * S_{mz} \quad (19)$$

$$F = 0,012879 * 784532$$

$$F = 10\,104\text{N}$$

kde:

F	[N]	síla působící na šroubový spoj
p_{sl}	[Pa]	maximální pracovní tlak
S_{mz}	[mm ²]	plocha mezi dvěma díly vystavená tlaku p

Tyto šrouby jsou voleny jako pevnostní s třídou pevnosti 12.9, což zaručuje jejich pevnost v tahu až 1000 MPa a mez kluzu 600 MPa. Průměr jejich jádra zjistíme z tabulky rozměrů metrického závitu. Bezpečnost tohoto šroubového spoje spočítáme z rovnice (20). [12]

$$k = \frac{\sigma_e}{F} = \frac{\sigma_e}{\frac{F}{\frac{S_{\text{šr}}}{\frac{\pi * d_{\text{šr}}^2}{4} * i_{\text{s}}}}} \quad (20)$$

$$k = \frac{600}{\frac{10\,104}{\frac{\pi * 4,6^2}{4} * 13}}$$

$$k = 12,8$$

kde:

F	[N]	síla působící na šroubový spoj
σ_e	[Pa]	dovolené napětí daného šroubového spoje
S	[mm ²]	plocha jádra šroubového spoje
d	[mm]	průměr plochy jádra šroubového spoje
k	[-]	bezpečnost
i_{s}	[-]	počet šroubů

Jelikož je vnější závit spoje ve spodním dílu, použijeme dovolený tlak v závitech pro hliník. Zbytek parametrů šroubu zjistíme opět z tabulky metrického závitu. [36] [12] Tlak působící na závit vypočítáme z rovnice (21).

$$p = \frac{F}{d_{sz} * H * \pi * \frac{m}{p_z} * i_{\xi}} \quad (21)$$

$$p = \frac{10\,104}{5,3 * 0,5 * \pi * \frac{7}{1} * 13}$$

$$p = 13,3 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{p_d}{p}$$

$$k = \frac{90}{13,3}$$

$$k = 6,8$$

kde:

F	[N]	síla působící na šroubový spoj
p_d	[Pa]	dovolенý tlak v závitech šroubového spoje
d_{sz}	[mm]	střední průměr závitu
H	[mm]	výška závitu
m	[mm]	délka závitu
p_z	[mm]	rozteč závitu
k	[-]	bezpečnost
i_{ξ}	[-]	počet šroubů
p	[Pa]	tlak působící v závitech

Bezpečnost vyšla dostatečná, takže počet šroubů by mohl být v případě potřeby snížen.

Na ostatní spojované části nepůsobí tak velká síla, proto jsou zvolené šrouby bezpečně předimenzované.

12 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout bezpečnostní ventil, který má být použit jako součást bezpečnostního prvku dvouručního ovládání. Celý tento bezpečnostní systém je součástí mechanických lisů. Nejprve zde byla provedena rešerše, na jejímž základě vznikl návrh konstrukce ventilu. Bylo zapotřebí navrhnout některé pevnostně namáhané součásti jako pružiny či šroubové spoje. Jelikož se jedná o bezpečnostní prvek, je nutné, aby splňoval určité požadavky dané normou. Jedním z těchto požadavků je synchronní ovládání, kvůli kterému musel být proveden výpočet, z kterého vychází časová závislost tlaku v jedné z komor ventilu.

Jelikož tento ventil má pracovat v širokém rozptylu pracovních tlaků, bylo obtížné ho navrhnout tak, aby bylo ve všech případech dosaženo synchronního ovládání a zároveň aby zpoždění vstupních signálů pro iniciaci signálu výstupního nebylo příliš krátké. V rámci této práce byl vytvořen výpočtový model, ve kterém byly všechny důležité části optimalizovány.

Všechny části ventilu byly navrhovány tak, aby celková cena za ventil byla co nejnižší. To v praxi znamená, že je snaha vytvořit všechny díly co nejmenší. Cena materiálu totiž představuje nezanedbatelnou část ceny ventilu. Toto však přineslo problém hlavně u horního dílu, ve kterém je zapotřebí vytvořit velké množství děr a drážek, které se nesmí protnout. Bylo proto zapotřebí najít vhodné řešení, které bude kombinovat co nejmenší rozměry a zároveň bude mezi všemi otvory a drážkami dostatečně tlustá stěna. Druhým faktorem, který cenu ovlivňuje, jsou výrobní náklady. Všechny vyráběné díly jsou obráběné, a to s sebou nese určité požadavky na tvar jednotlivých součástí. Je tedy zapotřebí volit co největší rádiusy na bocích drážek, aby bylo možné použít co největší frézy a tím pádem všechny tyto díly vyrobit v co nejkratším čase.

Celý ventil se skládá z několika dílů. Mezi vyráběné díly patří tělo ventilu, které je složeno z několika částí. Všechny části těla ventilu jsou ze slitin hliníku. Ten je volen kvůli relativně nízké hmotnosti a dobré obrobitelnosti. Písty jsou zde vyrobeny také z několika částí, které jsou nasazeny na hřídel. Mezi nakupované díly patří především dva elektrické ventily. Dalšími díly jsou poté různá těsnění či šrouby.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Printing press. *Britannica* [online]. Chicago: britannica, 2005 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/printing-press>STONE, R. *Introduction to Internal Combustion Engines*. Fourth Edition. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012. 516 s. ISBN 978-1-137-02829-5.
- [2] *An Introduction to Mechanical Press* [online]. 2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.imts-exhibition.com/blog/an-introduction-to-mechanical-press.html>
- [3] *Bezpečnost strojních zařízení – Dvouruční ovládací zařízení – Zásady pro konstrukci a výběr: ČSN EN ISO 13851*. 2019.
- [4] *Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika – část 2: Praktický návod a příklady: TNI ISO/TR 14121-2*. UNMZ, 2020.
- [5] *Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlost přiblížení částí lidského těla: ČSN EN ISO 13855*. UNMZ, 2010.
- [6] *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika: ČSN EN ISO 12100*. UNMZ, 2011.
- [7] *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci: ČSN EN ISO 13849-1*. UNMZ, 2017.
- [8] *Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Lisy – Část 1: Obecné bezpečnostní požadavky: ČSN EN ISO 16062-1*. UNMZ, 2019.
- [9] *Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Lisy – Část 2: Bezpečnostní požadavky pro mechanické lisy: ČSN EN ISO 16062-2*. UNMZ, 2019.
- [10] *Pneumatika – Všeobecná pravidla a bezpečnostní požadavky na pneumatické systémy a jejich součásti: ČSN EN ISO 4414*. UNMZ, 2011.
- [11] O strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES. In: 2006/42/ES. Úřední věstník Evropské unie, 2006.
- [12] SHIGLEY, Joseph, Charles MISCHKE a Richard BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. VUTIUM, 2010. ISBN 9788021426290.

- [13] *Types of Hydraulic Presses and How They Work* [online]. [cit. 2022-04-26].
Dostupné z: <https://www.grainger.com/know-how/equipment-information/kh-types-of-hydraulic-presses-and-how-they-work>
- [14] *HYDRAULIC PRESS* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z:
<https://www.hemel.com.tr/what-is-a-hydraulic-press-and-how-does-it-work#:~:text=A%20hydraulic%20press%20is%20a,is%20bigger%20than%20the%20other.>
- [15] *Photocells and Motion Sensors: What's the Difference?* [online]. [cit. 2022-04-26].
Dostupné z: <https://www.destinationlighting.com/fliptheswitch/whats-the-difference-between-photocells-and-motion-sensors/>
- [16] *Standard inline full-flow quick-exhaust* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z:
<https://store.lydey.com/products/VL52G16Y>
- [17] *General purpose pressure filter* [online]. IMI Norgren, 2015 [cit. 2022-04-26].
Dostupné z: https://cdn.norgren.com/pdf/en_8_350_100_F18.pdf
- [18] *Brass ball valve: Rp 3/4", -0,9 to 40 bar, full throughway* [online]. Germany [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.landefeld.com/artikel/en/brass-ball-valve-rp-34-09-to-40-bar-full-throughway/KH%2034>
- [19] *General purpose pressure regulator* [online]. IMI Herion, 2015 [cit. 2022-04-26].
Dostupné z: https://cdn.norgren.com/pdf/en_8_350_200_R18.pdf
- [20] *Manometr spodní* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z:
https://www.dek.cz/produkty/detail/6000727234-manometr-spodni-1-4-dn-63-0-16bar?gclid=CjwKCAjwsJ6TBhAIEiwAfl4TWH9GQ6_h2Xwc-5sCYuoPFfQdTtYmQbrEALh9ijKDQje2Mqo7WCTiKBoCiyYQAvD_BwE
- [21] *Pojistné ventily* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z:
<https://www.avimex.cz/ventil-pojistny-pruzinovy-nizkozdvizny-natrubkovy-p-10-237-616-pn-16/>
- [22] *Vzdušník ležatý* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.technicke-soucasti.cz/technicka-zarizeni/tlakove-nadoby/vzdusnik-lezaty-10-litru.html>
- [23] *Tlakové spínače elektromechanické* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z:
<https://www.norservis.cz/katalog/tlakove-spinace-elektromechanicke-serie-18d>

- [24] *Zpětný ventil RP pro* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [https://cz.rs-online.com/web/p/zpetne-ventily/0486164?cm_mmc=CZ-PLA-DS3A-_google-_PLA_CZ_CZ_Instalat%C3%A9rsk%C3%A9_prvky_a_potrub%C3%AD_Whoop-_\(CZ:Whoop!\)+Zp%C4%9Btn%C3%A9+ventily-_486164&matchtype=&pla-309228723290&gclid=CjwKCAjwsJ6TBhAIEiwAfl4TWIb7Bv3KfZ1_r5W_S-341_vC7Y_E-OkY1wcd_1qFB05EdXN-o23aoxoCxOYQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds](https://cz.rs-online.com/web/p/zpetne-ventily/0486164?cm_mmc=CZ-PLA-DS3A-_google-_PLA_CZ_CZ_Instalat%C3%A9rsk%C3%A9_prvky_a_potrub%C3%AD_Whoop-_(CZ:Whoop!)+Zp%C4%9Btn%C3%A9+ventily-_486164&matchtype=&pla-309228723290&gclid=CjwKCAjwsJ6TBhAIEiwAfl4TWIb7Bv3KfZ1_r5W_S-341_vC7Y_E-OkY1wcd_1qFB05EdXN-o23aoxoCxOYQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)
- [25] *Tlumiče hluku* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/SILENCERS_CZ.PDF
- [26] *Safety Technology: 3/2 Safety Valves*. Stuttgarter: Norgren, 2018. ISSN 3/2 Safety Valves.
- [27] *Pneumatický dávkovač maziva* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/pneumaticke-davkovace-maziva/2180600>
- [28] MORDEN a SURREY. *Pneumatic handbook*. 2. England, 1981.
- [29] ROČEK, Jaroslav. *Průmyslové armatury : teorie a praxe*. 1975.
- [30] *Norgren solenoid valve* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.mecafluid.eu/en/catalog/imi-norgren-solenoid-valve-serie-82540-brass-body-22-no-g14-23050-no-manual-operator~26ebc2c0-c7e5-4050-80ab-3f63ff5d924d>
- [31] *O kroužky* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://e-shop.exvalos.cz/produkty/tesneni/o-krouzky>
- [32] *Kulaté ploché těsnění* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <http://cz.svks-oilseal.com/nonstandard-rubber-seal/gaskets/round-neoprene-flat-compound-gasket.html>
- [33] *Pístová těsnění* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/tesneni/pneumaticka-tesneni/pistova-tesneni>
- [34] *Záslepka* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/tesneni/pneumaticka-tesneni/pistova-tesneni>
- [35] *Šrouby: rozdělení podle tříd pevnosti, typu hlavy a drážky pro pohon* [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://tech.instory.cz/1058-srouby-rozdeleni-podle-trid-pevnosti-typu-hlavy-a-drazky-pro-pohon.html>
- [36] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

d_{pr}	[mm]	Průměr drátu pružiny
D_{pr}	[mm]	Střední průměr cívky
D_s	[mm]	Průměr plochy pístu vystavené řídicímu tlaku
d_{sz}	[mm]	Střední průměr závitu
$d_{šr}$	[mm]	Průměr plochy jednoho šroubu umístěného mezi horním a dolním dílem
D_v	[mm]	Průměr plochy pístu vystavené pracovnímu tlaku na vstupní straně ventilu.
F	[N]	Síla působící na šrouby spojující hlavní části ventilu
$F_{pr\ max}$	[kN]	Síla vyvozená pružinou při stlačení l
$F_{ř}$	[N]	Síla na vstupní straně pístu vyvolaná řídicím tlakem půl vteřiny od zahájení vypouštění vzduchu z komory
F_s	[N]	Síla vyvozená řídicím tlakem na řídicí straně pístu
F_v	[N]	Síla na vstupní straně pístu vyvolaná pracovním tlakem
F_v	[N]	Síla vyvozená pracovním tlakem na vstupní straně pístu
G_{pr}	[MPa]	Modul průřezu v krutu
H	[mm]	Výška závitu
$i_{š}$	[-]	Počet použitých šroubů
k	[-]	Bezpečnost
k_p	[N/mm]	Tuhost pružiny
l	[mm]	Maximální stlačení pružiny
M	[mol/kg]	Molární hmotnost
m	[kg]	Hmotnost stlačeného vzduchu
m	[mm]	Délka závitu
n	[mol]	Látkové množství
n_{pr}	[-]	Počet činných závitů pružiny
p_1	[Pa]	Tlak na počátku adiabatického děje
p_2	[Pa]	Tlak na konci adiabatického děje
p_d	[Pa]	Dovolený tlak v závitech
p_{kr}	[Pa]	Kritický tlak
p_{out}	[Pa]	Atmosférický tlak okolí
$p_{ř}$	[Pa]	Řídicí tlak v komoře půl vteřiny po vypouštění vzduchu
p_s	[Pa]	Řídicí tlak
p_{smaxi}	[Pa]	Tlak stlačeného vzduchu po napuštění do komory

p_v	[Pa]	Pracovní tlak
p_z	[mm]	Rozteč závitu
Q_m	[kg/s/1000]	Hmotnostní průtok vzduchu za tisícinu vteřiny
R	[J/kg/K]	Plynová konstanta
S_{mz}	[mm ²]	Plocha, na kterou působí pracovní tlak mezi horním a dolním dílem ventilu
S_o	[mm ²]	Plocha otvoru (úniku) komory
S_s	[mm ²]	Plocha na řídicí straně pístu vystavená řídicímu tlaku
$S_{šr}$	[mm ²]	Plocha jednoho šroubu umístěného mezi horním a dolním dílem
S_v	[mm ²]	Plocha na vstupní straně pístu vystavená pracovnímu tlaku
T	[K]	Teplota stlačeného řídicího vzduchu
T_1	[K]	Teplota na počátku adiabatického děje
T_2	[K]	Teplota na konci adiabatického děje
T_{2s}	[K]	Teplota stlačeného vzduchu napuštěného v komoře
T_{out}	[K]	Teplota okolního vzduchu volné atmosféry
V	[mm ³]	Objem komory
v	[mm ³]	Měrný objem stlačeného vzduchu
v_1	[mm ³ /kg]	Měrný objem na počátku adiabatického děje
v_2	[mm ³ /kg]	Měrný objem na konci adiabatického děje
w_k	[m/s]	Výtoková rychlost
β	[-]	Kritický tlakový poměr
κ	[-]	Poissonova konstanta
ρ	[kg/mm ³]	Hustota stlačeného vzduchu
σ_e	[MPa]	Dovolené napětí šroubu



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha – I Průběh vypočítaných veličin v komoře nad pístem pro nejvyšší pracovní tlak

Příloha – II Průběh vypočítaných veličin v komoře nad pístem pro nejnižší pracovní tlak

Příloha – III Výkresová dokumentace

a) výkres sestavy „Bezpečnostní ventil“ č.v. DP-00-01

b) výrobní výkres „Horní díl“ č.v. DP-01-01

c) výrobní výkres „Spodní díl“ č.v. DP-01-02

d) výkres sestavy „Píst“ č.v. DP-01-03

e) výrobní výkres „Vložka“ č.v. DP-01-04

f) výrobní výkres „Viko 3“ č.v. DP-01-06

Příloha I – Průběh vypočítaných veličin v komoře nad pístem pro nejvyšší pracovní tlak

čas	tlak	Teplota	Hmotnost	Hustota	Měrný objem	Látkové množství	Výtoková rychlost	Hmotnostní průtok	Kritický tlak
t s	p Pa	T K	m kg	ρ kg/m ³	v m ³ /kg	n mol	W m/s	Qm kg/s	pk Pa
0,00	784532	531,00	4,47E-05	0,149	6,71	0,001544	421,73	4,94E-05	414454
0,02	760686	526,34	4,37E-05	0,146	6,86	0,001510	419,88	4,81E-05	401856
0,04	737665	521,74	4,28E-05	0,143	7,01	0,001477	418,04	4,68E-05	389695
0,06	715436	517,20	4,19E-05	0,140	7,17	0,001445	416,21	4,56E-05	377952
0,08	693970	512,71	4,10E-05	0,137	7,32	0,001414	414,41	4,44E-05	366612
0,10	673237	508,29	4,01E-05	0,134	7,48	0,001384	412,62	4,33E-05	355659
0,12	653208	503,92	3,92E-05	0,131	7,65	0,001354	410,84	4,22E-05	345078
0,14	633858	499,61	3,84E-05	0,128	7,81	0,001326	409,08	4,11E-05	334856
0,16	615161	495,36	3,76E-05	0,125	7,98	0,001298	407,33	4,01E-05	324978
0,18	597091	491,15	3,68E-05	0,123	8,15	0,001270	405,60	3,91E-05	315432
0,20	579625	487,01	3,60E-05	0,120	8,33	0,001244	403,88	3,81E-05	306205
0,22	562740	482,91	3,53E-05	0,118	8,51	0,001218	402,18	3,71E-05	297286
0,24	546416	478,86	3,45E-05	0,115	8,69	0,001192	400,49	3,62E-05	288662
0,26	530630	474,87	3,38E-05	0,113	8,87	0,001168	398,82	3,53E-05	280322
0,28	515364	470,93	3,31E-05	0,110	9,06	0,001144	397,16	3,44E-05	272257
0,30	500597	467,03	3,24E-05	0,108	9,25	0,001120	395,51	3,36E-05	264456
0,32	486313	463,18	3,18E-05	0,106	9,44	0,001097	393,88	3,28E-05	256910
0,34	472492	459,38	3,11E-05	0,104	9,64	0,001075	392,26	3,20E-05	249609
0,36	459118	455,63	3,05E-05	0,102	9,84	0,001053	390,66	3,12E-05	242544
0,38	446175	451,92	2,99E-05	0,100	10,04	0,001032	389,07	3,04E-05	235706
0,40	433647	448,26	2,93E-05	0,098	10,25	0,001011	387,49	2,97E-05	229088
0,42	421520	444,64	2,87E-05	0,096	10,46	0,000991	385,92	2,90E-05	222681
0,44	409779	441,07	2,81E-05	0,094	10,67	0,000971	384,36	2,83E-05	216479
0,46	398410	437,54	2,76E-05	0,092	10,89	0,000951	382,82	2,76E-05	210473
0,48	387401	434,05	2,70E-05	0,090	11,11	0,000933	381,29	2,70E-05	204657
0,50	376737	430,60	2,65E-05	0,088	11,33	0,000914	379,78	2,63E-05	199024

Příloha II – Průběh vypočítaných veličin v komoře nad pístem pro nejnižší pracovní tlak

čas	tlak	Teplota	Hmotnost	Hustota	Měrný objem	Látkové množství	Výtoková rychlost	Hmotnostní průtok	Kritický tlak
t s	p Pa	T K	m kg	ρ kg/m ³	v m ³ /kg	n mol	W m/s	Qm kg/s	pk Pa
0,00	196133	357,40	1,66E-05	0,0554	18,065	0,0005734	345,99	1,50E-05	103613
0,02	191227	354,82	1,63E-05	0,0544	18,395	0,0005632	344,74	1,47E-05	101022
0,04	186475	352,28	1,60E-05	0,0534	18,728	0,0005531	339,80	1,42E-05	100000
0,06	181933	349,81	1,57E-05	0,0525	19,061	0,0005435	332,40	1,37E-05	100000
0,08	177597	347,40	1,55E-05	0,0516	19,393	0,0005342	325,06	1,32E-05	100000
0,10	173457	345,07	1,52E-05	0,0507	19,722	0,0005253	317,77	1,27E-05	100000
0,12	169505	342,81	1,50E-05	0,0499	20,049	0,0005167	310,52	1,22E-05	100000
0,14	165730	340,61	1,47E-05	0,0491	20,375	0,0005084	303,32	1,17E-05	100000
0,16	162125	338,47	1,45E-05	0,0483	20,697	0,0005005	296,17	1,12E-05	100000
0,18	158681	336,40	1,43E-05	0,0476	21,017	0,0004929	289,06	1,08E-05	100000
0,20	155391	334,40	1,41E-05	0,0469	21,334	0,0004856	281,99	1,04E-05	100000
0,22	152248	332,45	1,39E-05	0,0462	21,648	0,0004785	274,97	9,98E-06	100000
0,24	149245	330,56	1,37E-05	0,0455	21,958	0,0004718	267,99	9,59E-06	100000
0,26	146377	328,74	1,35E-05	0,0449	22,264	0,0004653	261,04	9,21E-06	100000
0,28	143636	326,96	1,33E-05	0,0443	22,567	0,000459	254,14	8,84E-06	100000
0,30	141018	325,25	1,31E-05	0,0437	22,865	0,000453	247,27	8,49E-06	100000
0,32	138517	323,59	1,30E-05	0,0432	23,160	0,0004473	240,43	8,15E-06	100000
0,34	136128	321,99	1,28E-05	0,0426	23,449	0,0004418	233,63	7,83E-06	100000
0,36	133848	320,44	1,26E-05	0,0421	23,734	0,0004365	226,86	7,51E-06	100000
0,38	131671	318,94	1,25E-05	0,0416	24,013	0,0004314	220,13	7,20E-06	100000
0,40	129593	317,49	1,24E-05	0,0412	24,288	0,0004265	213,43	6,90E-06	100000
0,42	127610	316,10	1,22E-05	0,0407	24,557	0,0004218	206,75	6,61E-06	100000
0,44	125719	314,75	1,21E-05	0,0403	24,820	0,0004174	200,11	6,33E-06	100000
0,46	123917	313,46	1,20E-05	0,0399	25,077	0,0004131	193,49	6,06E-06	100000
0,48	122199	312,21	1,18E-05	0,0395	25,329	0,000409	186,90	5,80E-06	100000
0,50	120564	311,01	1,17E-05	0,0391	25,574	0,0004051	180,33	5,54E-06	100000